UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"EVALUACIÓN DE BIOCHARDDCOMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de

Ingeniera Agrónoma

Autora:

Bedon Toaquiza Jessica Dayana

Tutora:

Guadalupe de las Mercedes López Castillo

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Bedon Toaquiza Jessica Dayana, con cédula de identidad No. 0504854555, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026.",** siendo la Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo Mg., Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 5 de agosto del 2026

Bedon Toaquiza Jessica Dayana
C.C: 0504854555
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **BEDON TOAQUIZA JESSICA DAYANA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504854555** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 – Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutora: Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo Mg.

Tema: **"EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."**

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

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

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

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.
c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonia

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

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

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

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

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

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

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

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

Jessica Dayana Bedon Toaquiza	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
EL CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de la Tutora del Proyecto de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026.”, de Bedon Toaquiza Jessica Dayana, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 5 de agosto del 2026

Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo, Mg.

C.C: 1801902907

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Bedon Toaquiza Jessica Dayana, con el título de Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 5 de agosto del 2026

Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa, Ph.D.	Ing. David Santiago Carrera Molina,Mg.
C.C: 0501645568	C.C: 0502663180
LECTOR 1 (PRESIDENTE)	**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Edwin Marcelo Chancusig Espín, Ph. D.

CC: 0501148837

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

A Dios, por regalarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesaria para superar cada obstáculo y alcanzar esta importante meta en mi vida. Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus autoridades y docentes, por brindarme los conocimientos y las herramientas necesarias para mi formación profesional como ingeniera Agrónoma. De manera especial, agradezco a mi tutora, la Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo, por su orientación, paciencia, dedicación y valiosos consejos durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Su apoyo y guía fueron fundamentales para culminar con éxito este proceso. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo y confianza, por ser mi fortaleza y motivación durante todo este camino. A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta etapa, se los agradezco de todo corazón.

Jessica Dayana Bedon Toaquiza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, fruto de años de esfuerzo, sacrificio y perseverancia, a las personas que estuvieron a mi lado y que hicieron posible que hoy pueda alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mi familia, a mi padre Segundo Galo Bedon y mis madres María Dolores Toaquiza, María Josefina Toaquiza, por ser mi apoyo y mi fortaleza durante todo este camino. Gracias por estar siempre para mí, por brindarme las facilidades y el apoyo necesario para continuar con mi carrera, por cada sacrificio realizado y por cada trasnochada compartida a mi lado. Gracias por creer en mí, por enseñarme, con su amor y esfuerzo, que ningún sueño es imposible cuando se lucha por alcanzarlo. Este logro también es de ustedes, porque detrás de cada paso que di estuvieron siempre presentes.

A mi tutora, Ing. Guadalupe López, Mg., por su orientación, y ser más que mi tutora, sino una amiga que me brindo sus conocimientos para poder llegar a donde estoy en estos momentos.

A mi pareja, Jhon Lutuala, por llegar a mi vida y convertirse en una fuente de apoyo, fortaleza y cariño durante este camino. Gracias por escucharme, por tus consejos, por ayudarme cuando lo necesite y por cada palabra de aliento que me brindaste en los momentos en los que el cansancio y las dificultades me hacían dudar de mis propias capacidades. Gracias por confiar en mi y recordarme, con tu apoyo y compañía, que siempre podía seguir adelante.

Jessica Dayana Bedon Toaquiza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "EVALUACIÓN DE BIOCHARDD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."

Autora:
Bedon Toaquiza Jessica Dayana

RESUMEN

En la zona andina de Salache, Latacunga, los cultivos de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus L.*) se establecen tradicionalmente mediante siembra directa a chorro continuo. Este sistema, aunque práctico, genera pérdidas importantes de semilla debido a la distribución irregular durante la siembra y a la necesidad de realizar posteriores raleos. El objetivo fue evaluar el biochard como sustrato en la producción de plántulas de estas tres especies andinas, determinando la dosis más eficiente, la respuesta agronómica diferencial y su viabilidad económica. La metodología respondió a un enfoque cuantitativo, experimental, bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos de biochard: 50g, 100g, 150g y testigo sin biochard, seis repeticiones y 24 unidades experimentales por especie. Los resultados evidenciaron que la dosis alta de 150 g de biochard por kg de sustrato favoreció a las tres especies en variables como germinación en chocho: altura 32,79 cm, diámetro 0,58 cm, 47,83 hojas, longitud raíz 18,95 cm, volumen 2,45 cm^3. En quinua: altura 13,08 cm, diámetro 0,36 cm, 8,17 hojas, longitud raíz 11,67 cm, volumen 2,28 cm^3. En amaranto: altura 5 cm, diámetro 0,32 cm, 4,83 hojas, longitud raíz 7,45 cm, volumen 1,22 cm^3. Mientras que el análisis costo-beneficio mostró una respuesta diferencial por especie: en chocho, el tratamiento más rentable fue la dosis alta de 150 g de biochard con un precio por seis bandejas de $7,30; en quinua, la mayor eficiencia económica se alcanzó con la dosis media de 100 g de biochard con un precio de $6,40 por seis bandejas; y en amaranto con un precio de $7,40 por las seis bandejas, el tratamiento óptimo fue la dosis alta de 150 g de biochard por sustrato. En conclusión, en conclusion, el uso de biochardd en vivero proporciona una alternativa técnica económica y sostenible para optimizar la producción de plántulas de especies andinas y fortalecer la seguridad alimentaria en la zona de Salache.

Palabras clave: biochard, sustrato, plántulas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: "EVALUATION OF BIOCHARDD AS A SUBSTRATE IN THE PRODUCTION OF LUPIN (Lupinus mutabilis sweet), QUINOA (Chenopodium quinoa), AND AMARANTH (Amaranthus caudatus) SEEDLINGS, IN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."

Authora:
Bedon Toaquiza Jessica Dayana

ABSTRACT

In the Andean area of Salache, Latacunga, chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), quinoa (*Chenopodium quinoa*), and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) are traditionally established through direct continuous-row seeding. Although practical, this system causes significant seed losses due to irregular distribution during sowing and the need for subsequent thinning. The objective of this study was to evaluate biochard as a substrate for seedling production in these three Andean species, determining the most efficient dose, the differential agronomic response, and its economic viability. The methodology followed a quantitative, experimental approach under a randomized complete block design (RCBD), with four biochard treatments: 50 g, 100 g, 150 g, and a control without biochardd six replications, and 24 experimental units per species. The results showed that the high dose of 150 g of biochard per kg of substrate favored germination and the development of morphophysiological variables in chocho, quinoa, and amaranth seedlings, including plant height, stem diameter, number of leaves, root length, and root volume. Meanwhile, the cost-benefit analysis showed a differential response by species: in chocho, the most profitable treatment was the high dose of 150 g of biochard; in quinoa, the greatest economic efficiency was achieved with the medium dose of 100 g of biochard; and in amaranth, the optimal treatment was also the high dose of 150 g of biochard per substrate. In conclusion, this thesis contributes to scientific knowledge on the use of biochard in nursery production and provides a technical, economic, and sustainable alternative to optimize the production of Andean seedlings and strengthen food security in the Salache area.

Keywords: biochard, substrate, seedlings, experimental design, lupin, quinoa, amaranth, nursery, dose, germination, alternative.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.. iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi
AGRADECIMIENTO vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
ÍNDICE DE CONTENIDOS xi
ÍNDICE DE TABLAS xvi
ÍNDICE DE FIGURAS xx
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. PROBLEMÁTICA 3
3. JUSTIFICACIÓN 4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 5
4.1. Beneficiarios directos 5
4.2. beneficiarios indirectos 6
5. OBJETIVOS: 6
5.1. Objetivo general 6
5.2. Objetivos específicos 6
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 6
7. MARCO TEÓRICO 9

7.1. Importancia agronómica, nutricional y económica de los cultivos andinos 9
7.1.1 Chocho (Lupinus mutabilis Sweet) 9
7.1.2 Origen y distribución 9
7.1.3 Clasificación Taxonómica 10
7.1.4 Morfología 10
7.1.5 Fases fenológicas 11
7.1.6 Manejo del cultivo 11
7.1.7 Problemas fitosanitarios 11
7.2. Quinua (Chenopodium quinoa) 12
7.2.1. Origen y distribución 12
7.2. 2. Morfología 12
7.2.3. Fases fenológicas 13
7.2.4. Manejo del cultivo 13
7.2.5. Problemas fitosanitarios 14
7.3 Amaranto (Amaranthus caudatus) 14
7.3.1 Origen y distribución 14
7.3.2. Morfología 15
7.3.3. Fases fenológicas 15
7.3.4. Manejo del cultivo 15
7.3.5. Problemas fitosanitarios 16
7.3.6. Métodos de siembra 16
7.3.7. Producción de plántulas en pilones 16
8. BIOCHARD 17
8.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR BIOCHARD EN EL ÁMBITO DE VIVERO 17
Ventajas del uso de biochard en viveros 17
Desventajas del uso de biochard en viveros 19

8.2. DOSIS RECOMENDADA DE BIOCHARD EN ENSAYOS 20
9. HIPOTESIS 21
Hipótesis Alternativa 21
Hipótesis Nula 21
Ubicación 21
PARTE METODOLÓGICA 21
Datos evaluados 22
Porcentaje de germinación 22
Altura de planta 22
Diámetro de tallo 22
Número de hojas 23
10. TIPO DE INVESTIGACIÓN 23
Investigación cuantitativa 23
Método experimental 23
Técnica de investigación: 24
Observación directa 24
Libro de campo 24
Factores en estudio para chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 24
Factor: A Dosis de Biochard 24
Tratamientos para Chocho 25
Factores en estudio para quinua (*Chenopodium quinoa)* 25
Factor: A Dosis de Biochard 25
Tratamientos para Quinua 25
Factores en estudio para amaranto *(Amaranthus caudatus)* 25
Factor: A Dosis de Biochard 25
Tratamientos para Amaranto 26
Diseño experimental 26

Modelo matemático del ADEVA 26
Esquema del ADEVA para chocho, quinua y amaranto 27
Metodología campo 27
Selección del material vegetal: prueba preliminar de germinación 27
Procedencia de las semillas y variedades utilizadas 27
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 29
11.1. Porcentaje de germinación en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 29
11.2. Porcentaje de germinación en quinua *(Chenopodium quinoa)* 31
11.3. Porcentaje de germinación en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 33
11.4. Diámetro de tallo en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 35
11.5 Diámetro de tallo en quinua *(Chenopodium quinoa)* 38
11.6 Diámetro de tallo en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 40
11.7. Altura de planta en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 42
11.8. Altura de planta en quinua *(Chenopodium quinoa)* 46
11.9. Altura de planta en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 50
11.10. Número de hojas en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 55
11.11. Número de hojas en quinua *(Chenopodium quinoa)* 59
11.12. Número de hojas en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 63
11.13 Longitud radicular en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 67
11.14. Longitud radicular en quinua *(Chenopodium quinoa)* 69
11.15. Longitud radicular en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 71
11.16. Volumen de la raíz en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 73
11.17. Volumen de la raíz en quinua *(Chenopodium quinoa)* 75
11.18. Volumen de la raíz en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 77
11.19. Adaptabilidad en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* 79
11.20. Adaptabilidad en quinua *(Chenopodium quinoa)* 81
11.21. Adaptabilidad en amaranto *(Amaranthus caudatus)* 83

12. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO 85
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 89
13.1. Conclusiones 89
13.2. Recomendaciones 90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. 6
Tabla 2: Clasificación Taxonómica Chocho (Lupinus mutabilis Sweet) 10
Tabla 3: *Clasificación Taxonómica Quinua (Chenopodium quinoa)* 12
Tabla 4: Clasificación Taxonómica Amaranto (Amaranthus caudatus) 14
Tabla 5: *Operacionalización de variables* 21
Tabla 6: *Tratamientos para Chocho* 25
Tabla 7: *Tratamientos para Quinua* 25
Tabla 8: *Tratamientos para Amaranto* 26
Tabla 9: *Esquema del Adeva para chocho, quinua y amaranto* 27
Tabla 10: *Especies y variedades empleadas* 28
Tabla 11: *Análisis de varianza porcentaje de germinación en chocho a los 3 días hasta la siembra* 29
Tabla 12: *Medias de porcentaje de germinación en chocho a los 3 días hasta la siembra* 30
Tabla 13: *Análisis de varianza de porcentaje de germinación en quinua a los 3 días hasta la siembra* 31
Tabla 14: *Medias para porcentaje de germinación en quinua a los 3 días hasta la siembra* 32
Tabla 15: *Análisis de varianza de porcentaje de germinación en amaranto a los 3 días hasta la siembra* 33
Tabla 16: *Medias para porcentaje de germinación en amaranto a los 3 días hasta la siembra* 34
Tabla 17: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días de ser implementado* 35
Tabla 18: *Medias para diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días de ser implementado* 36
Tabla 19: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días de ser implementado* 38
Tabla 20: *Medias de diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días* 38
Tabla 21: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días de ser implementado* 40
Tabla 22: *Medias del diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días de ser implementado* 40

Tabla 23: *Análisis de varianza de la altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días* 42
Tabla 24*: Análisis de varianza de la altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días* 42
Tabla 25: *Medias de altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días* 43
Tabla 26: *Medias de altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días* 44
Tabla 27: *Análisis de varianza de altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días* 46
Tabla 28: *Análisis de varianza de altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días* 46
Tabla 29: *Medias de altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días*..... 47
Tabla 30: *Medias de altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días*..... 48
Tabla 31: *Análisis de varianza de altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días* 50
Tabla 32: *Análisis de varianza de altura en amaranto a los 32, 40 y 48 días* ... 50
Tabla 33: *Medias de altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días* 51
Tabla 34: *Medias de altura de planta en amaranto a los 32, 40 y 48 días* 52
Tabla 35: *Análisis de varianza de número de hojas en chocho a los 8, 16 y 24 días* 55
Tabla 36: *Análisis de varianza de número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días* 55
Tabla 37: *Medias de número de hojas en chocho a los 8, 16 y 24 días* 56
Tabla 38: *Medias de número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días* 57
Tabla 39: *Análisis de varianza de número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días* 59
Tabla 40: *Análisis de varianza de número de hojas en quinua a los 32, 40 y 48 días* 59
Tabla 41: *Medias de número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días*..... 60
Tabla 42: *Medias de número de hojas en quinua a los 32, 40 y 48 días*..... 61
Tabla 43: *Análisis de varianza de número de hojas en amaranto a los 8, 16 y 48 días* 63
Tabla 44: *Análisis de varianza de número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días* 63

Tabla 45: *Medias de número de hojas en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 8, 16 y 48 días* 64
Tabla 46: *Medias de número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días* 65
Tabla 47: *Análisis de varianza de longitud radicular en chocho a los 49 hasta la siembra* 67
Tabla 48: *Medias de longitud radicular en chocho a los 49 días hasta la siembra* 67
Tabla 49: *Análisis de varianza de longitud radicular en quinua a los 49 días hasta la siembra* 69
Tabla 50: *Medias de longitud radicular en quinua a los 49 días hasta la siembra* 69
Tabla 51: *Análisis de varianza de longitud radicular en amaranto a los 49 días hasta la siembra* 71
Tabla 52: *Medias de longitud radicular en amaranto a los 49 días después de la siembra en bandejas de germinación* 71
Tabla 53: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en chocho a los 49 días hasta la siembra* 73
Tabla 54: *Medias del volumen de la raíz en chocho a los 49 días hasta la siembra* 73
Tabla 55: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en quinua a los 49 días hasta la siembra* 75
Tabla 56: *Medias del volumen de la raíz en quinua a los 49 días hasta la siembra en bandejas de germinación* 75
Tabla 57: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 49 días hasta la siembra* 77
Tabla 58: *Medias del volumen de la raíz en amaranto a los 49 días hasta la siembra* 77
Tabla 59: *Análisis de varianza de adaptabilidad en chocho a los 15 días de ser implementado en campo.* 79
Tabla 60: *Medias de adaptabilidad en chocho a los 15 días de ser implementado en campo.* 79
Tabla 61: *Análisis de varianza de adaptabilidad en quinua a los 15 días de ser implementada en campo.* 81

Tabla 62: *Medias de adaptabilidad en quinua a los 15 días de ser implementado en campo.* 81
Tabla 63: *Análisis de varianza de adaptabilidad en amaranto a los 15 días de ser implementado en campo* 83
Tabla 64. *Medias de adaptabilidad en amaranto a los 15 días de ser implementado en campo.* 83
Tabla 65: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D3 (dosis alta con 150g de biochard/bandeja) en chocho.* 85
Tabla 66: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D2, dosis media (100 g de biochard/bandeja) en quinua* 87
Tabla 67: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D3, dosis alta (150g de biochard/bandeja) en amaranto* 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en chocho a los 3 días* 31

Figura 2: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en quinua a los 3 días* 33

Figura 3: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 3 días* 35

Figura 4: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días* 37

Figura 5: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días* 39

Figura 6: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días* 41

Figura 7: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días* 44

Figura 8: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días* 45

Figura 9: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días* 48

Figura 10: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días* 49

Figura 11: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días* 52

Figura 12: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en amaranto a los 32, 40 y 48 días* 54

Figura 13: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto a los 8, 16 y 24 días* 57

Figura 14: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días* 58

Figura 15: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días* 61

Figura 16: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en quinua (Chenopodium quinoa) a los 32, 40 y 48 días* 62

Figura 17: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 8, 16 y 24 días* 65
Figura 18: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días* 66
Figura 19: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en chocho (Lupinus mutabilis sweet) a los 49 días* 68
Figura 20: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en quinua a los 49 días* 70
Figura 21: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en amaranto a los 49 días* 72
Figura 22: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en chocho a los 49 días* 74
Figura 23: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en quinua (Chenopodium quinoa) a los 49 días* 76
Figura 24: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en amaranto a los 49 días* 78
Figura 25: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en chocho a los 49 días* 80
Figura 26: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en quinua a los 49 días* 82
Figura 27: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en amaranto a los 49 días* 84
Figura 28: *Curva de comportamiento de temperatura y humedad. Cuadro de datos en el anexo 1* 85

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

"EVALUACIÓN DE BIOCHARD COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHOCHO *(Lupinus mutabilis sweet)* QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y AMARANTO *(Amaranthus caudatus*), EN SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2026."

Fecha de inicio:

Mayo 2026

Fecha de finalización:

Agosto 2026

Lugar de ejecución:

Invernadero de Granos Andinos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en el sector de Salache Bajo, Latacunga Cotopaxi.

Carrera que auspicia:

Agronomía

Equipo de trabajo:

Tutora: Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo Mg.

Lector 1: Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa Mg.

Lector 2: Ing. Santiago David Carrera Molina Mg.

Lector 3: Ing.Mg. Edwin Marcelo Chancusig Espín. PhD

Investigador responsable: Jessica Dayana Bedon Toaquiza

Coordinador del proyecto:

Nombre/s: Jessica Dayana Bedon Toaquiza

Teléfonos: 0967509146

Correo electrónico: jessica.bedon4555@utc.edu.ec

Área de conocimiento:

Agricultura, Silvicultura y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable.

Línea de investigación:

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

Línea de vinculación de la carrera:

Caracterización de la biodiversidad y sistemas sostenibles de producción

Línea de vinculación:

Convenio UTC-PROYECTO SUSTENTO ANDINO

2. PROBLEMÁTICA

En la zona andina de Salache, Latacunga, los cultivos de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus L.*) se establecen tradicionalmente mediante siembra directa a chorro continuo. Este sistema, aunque práctico, genera pérdidas importantes de semilla debido a la distribución irregular durante la siembra y a la necesidad de realizar posteriores raleos, estimándose que entre el 15 y el 30 % de la semilla utilizada no contribuye al establecimiento definitivo del cultivo, desuniformidad en la emergencia, En las primeras etapas de desarrollo de los cultivos, los problemas fitosanitarios asociados principalmente al complejo de hongos causantes del *damping-off*, como *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium spp.*, pueden ocasionar pérdidas significativas en el establecimiento del cultivo. Diversos estudios reportan que estas enfermedades pueden reducir la emergencia y supervivencia de plántulas entre **10 y 40 %** bajo condiciones normales de infestación, mientras que en ambientes con alta humedad y drenaje deficiente las pérdidas pueden superar el **50 %** de la población establecida. Estas reducciones afectan directamente la densidad final de plantas, incrementan los costos de resiembra y disminuyen la uniformidad del cultivo, comprometiendo el rendimiento potencial (FAO, 2016).

En condiciones de siembra directa, el chocho utiliza aproximadamente entre 60 y 80 kg de semilla por hectárea, debido a la distribución sin control y a las fallas de germinación causadas por patógenos del suelo (Peralta, 2012). En el caso de la quinua, la siembra a chorro continuo demanda alrededor de 8 a 12 kg ha, mientras que el amaranto requiere aproximadamente 2 a 3 kg ha, incrementándose estos valores por pérdidas ocasionadas por encostramiento del suelo, exceso de humedad y ataque de insectos trozadores durante la emergencia (Mamani, 2017).

Además, al no existir control sobre la profundidad ni el número de plantas establecidas, se generan poblaciones irregulares que afectan el crecimiento y el rendimiento final del cultivo.

Al implementar la producción de plántulas en pilones, el uso de semilla se optimiza considerablemente, ya que se siembra una semilla por alvéolo, garantizando mayor porcentaje de germinación, sanidad y uniformidad, bajo este sistema, el requerimiento de semilla puede reducirse entre 40 y 60 % en comparación con la siembra directa, permitiendo que para una hectárea se utilice únicamente la cantidad necesaria para trasplante efectivo, evitando desperdicios (FAO, 2013).

En este contexto, revertir el sistema de siembra directa hacia la producción de plántulas en pilones con biochard como sustrato permite mejorar el establecimiento del cultivo, reducir el uso de semilla, minimizar problemas fitosanitarios y garantizar una producción más eficiente de chocho, quinua y amaranto en la zona de Salache.

3. JUSTIFICACIÓN

A partir de la problemática generada por el uso tradicional de la siembra directa a chorro continuo en los cultivos de chocho *(Lupinus mutabilis Sweet)*, quinua *(Chenopodium quinoa)* y amaranto *(Amaranthus caudatus)*, la cual ocasiona un elevado consumo de semilla, fallas de germinación, desuniformidad en la emergencia y pérdidas por problemas fitosanitarios e insectos trozadores durante las primeras fases del cultivo (Peralta, 2012).

En sistemas de siembra directa, la distribución no controlada incrementa el desperdicio de semilla y dificulta el establecimiento de una población óptima de plantas. En contraste, la producción de plántulas en pilones permite sembrar una semilla por alvéolo, controlar la profundidad, la sanidad y el vigor inicial, reduciendo significativamente el

requerimiento de semilla por hectárea y garantizando mayor uniformidad al momento del trasplante (Cargua Chávez, 2020).

Desde el punto de vista técnico, esta investigación permitirá generar información científica sobre el efecto de diferentes dosis de biochard como componente del sustrato en piloneras, evaluando su influencia sobre la germinación, crecimiento, desarrollo radicular y sanidad de plántulas de chocho, quinua y amaranto (Hoque., 2025). Esto contribuirá a mejorar los sistemas de vivero para especies andinas.

En el ámbito ambiental, el uso de biochard favorece la reutilización de residuos orgánicos, mejora la estructura física del sustrato, incrementa la retención de humedad y nutrientes y contribuye al secuestro de carbono, alineándose con principios de agricultura sostenible (Lehmann, 2015).

Finalmente, en el aspecto socioeconómico, disponer de plántulas más vigorosas y uniformes reduce pérdidas en campo, disminuye costos de resiembra, optimiza el uso de semilla y fortalece la producción de cultivos estratégicos para la seguridad alimentaria en la zona de Salache, beneficiando directamente a los productores locales (Ruiz, 2014).

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios directos

Como beneficiarios directos de esta investigación, se identifican a los productores agrícolas y dueños de viveros de la zona de Salache, Latacunga, Cotopaxi, dedicados al cultivo de chocho, quinua y amaranto; y a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales junto a la carrera de Agronomía.

4.2. beneficiarios indirectos

Como beneficiarios indirectos se encuentran los consumidores de chocho, quinua y amaranto; las instituciones públicas vinculadas al sector agropecuario, como el Ministerio de Agricultura y Ganadería; la comunidad científica y académica, incluido futuros investigadores y estudiantes de agronomía; el medio ambiente, al promoverse una práctica sostenible que reutiliza residuos orgánicos y contribuye al secuestro de carbono.

5. OBJETIVOS:

5.1. Objetivo general

Evaluación de Biochard como sustrato en la producción de plántulas de chocho *(Lupinus mutabilis sweet)* quinua *(Chenopodium quinoa)* y amaranto *(Amarantho caudatus*) en pilonera.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis más efectiva para la producción de plántulas de chocho, quinua y amaranto
- Analizar la especie andina de chocho, quinua y amaranto que mejor se adapta a los tratamientos con biochard.
- Realizar el análisis costo-beneficio del mejor tratamiento entre las especies andinas de Chocho, Quinua y Amaranto.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. *Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.*

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	MEDIOS DE VERIFICACIÓN

Determinar la dosis más efectiva de biochard para la producción de plántulas de chocho, quinua y amaranto.	Preparación de mezclas de sustrato con diferentes dosis de biochard según tratamientos establecidos. Llenado y acondicionamiento de bandejas de germinación. Siembra de semillas por especie en cada unidad experimental. Manejo agronómico en vivero (riego controlado, monitoreo de emergencia y control sanitario).	Bandejas implementadas y sembradas conforme a los tratamientos. Emergencia uniforme y establecimiento inicial de plántulas. Diferencias visibles en vigor inicial según dosis aplicada.	Libro de campo con registros de preparación y siembra. Registro fotográfico del proceso. Control de fechas de siembra y emergencia.

Analizar la especie andina que mejor se adapta a los tratamientos con biochard.	Toma periódica de datos (altura, número de hojas, desarrollo radicular, % germinación, temperatura, humedad y pH). Registro sistemático por tratamiento y especie. Comparación del comportamiento agronómico entre especies.	Bandejas con desarrollo diferenciado entre especies. Identificación de la especie con mejor respuesta en crecimiento y vigor.	Libro de campo con registros de evaluación. Fotografías comparativas por tratamiento.
Realizar el análisis costo-beneficio del mejor tratamiento.	Elaboración de cuadro comparativo de costo-beneficio. Análisis técnico-económico para determinar viabilidad.	Número de plantas obtenidas por unidad experimental. Determinación del tratamiento más eficiente y rentable. Relación costo-beneficio establecida.	Libro de campo con registros productivos. Cuadro de costo-beneficio. Registro fotográfico del conteo final de plántulas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Importancia agronómica, nutricional y económica de los cultivos andinos

El chocho *(Lupinus mutabilis Sweet*), la quinua *(Chenopodium quinoa)* y el amaranto *(Amaranthus caudatus)* constituyen cultivos estratégicos para los sistemas productivos de la región andina debido a su alto valor nutricional, su amplia adaptación agroecológica y su importancia socioeconómica (Peralta et al., 2012). Estas especies forman parte de la agricultura tradicional andina y actualmente presentan un creciente interés a nivel nacional e internacional por su aporte a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad agrícola (FAO, 2013).

7.1.1 Chocho (Lupinus mutabilis Sweet)

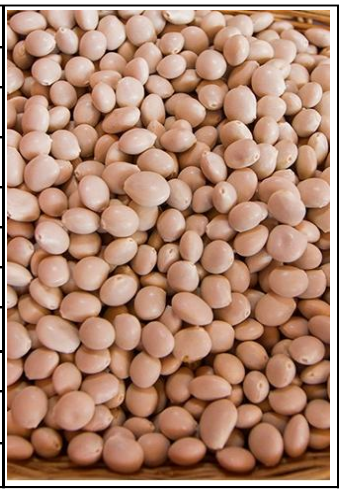
El chocho se caracteriza por su elevado contenido de proteína, que puede superar el 40 %, además de aceites, minerales y compuestos funcionales. Agronómicamente, destaca por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, lo que contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes nitrogenados. Asimismo, el chocho se adapta eficientemente a suelos de baja fertilidad y climas fríos, convirtiéndose en una alternativa rentable para pequeños productores andinos (Peralta et al., 2012).

7.1.2 Origen y distribución

El chocho es originario de la región andina de Sudamérica, principalmente de Perú, Bolivia y Ecuador, donde ha sido cultivado desde épocas prehispánicas. Se adapta a altitudes entre 2 500 y 3 800 msnm, con temperaturas entre 8 y 18 °C y suelos bien drenados (Peralta, 2012).

7.1.3 Clasificación Taxonómica

Tabla 2: Clasificación Taxonómica Chocho (Lupinus mutabilis Sweet)

Categoría	Clasificación	
Reino	Plantae	
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Subclase	Rosidae	
Orden	Fabales	
Familia	Fabaceae	
Subfamilia	Papilionoideae	
Género	*Lupinus*	
Especie	*Lupinus mutabilis* Sweet	
Nombre común	Chocho, tarwi	

7.1.4 Morfología

Raíz. Sistema radical pivotante, profundo y ramificado, con abundantes raíces laterales. Presenta nódulos simbióticos con *Rhizobium* responsables de la fijación biológica de nitrógeno, mejorando la nutrición de la planta y la fertilidad del suelo (Benavente Ferraces, 2023).

Tallo. Erecto, cilíndrico y ramificado, semileñoso en la base. Cumple funciones de soporte y conducción de savia bruta y elaborada (Allohverdi, 2021).

Hojas. Compuestas, palmadas, con 5–9 folíolos lanceolados. Realizan fotosíntesis C3 y regulan transpiración e intercambio gaseoso (FAO, La quinua: Cultivo ancestral para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. , 2019).

Flores. Papilionadas, hermafroditas, dispuestas en racimos terminales, responsables de la polinización y cuajado de vainas (González-Marquetti, 2021).

Fruto. Vaina alargada con 3–6 semillas, donde ocurre la translocación de fotoasimilados (González-Marquetti, 2021).

Semilla. Grande, globosa, rica en proteínas y aceites; órgano de reserva para la germinación (Agegnehu et al., 2017).

7.1.5 Fases fenológicas

- Germinación (0–5 Días)
- Emergencia (5–8 Días)
- Desarrollo vegetativo inicial (8–25 Días)
- Crecimiento vegetativo (25–60 Días)
- Inducción floral (60–75 Días)
- Floración (75–100 Días)
- Fructificación (100–150 Días)
- Madurez fisiológica (150–180 Días)
- Trasplante desde pilones: 20–30 Días.

7.1.6 Manejo del cultivo

El chocho requiere suelos francos a franco–arenosos, pH 5,5–7,5 y buena aireación. En vivero se controla humedad, temperatura y sanidad. En pilones se siembra una semilla por alvéolo, se mantiene riego ligero diario y se evita compactación del sustrato. El uso de biochard mejora la porosidad, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el vigor inicial y la nodulación (Tapia, 2015).

7.1.7 Problemas fitosanitarios

Los principales problemas en vivero y establecimiento son pudriciones radiculares (*Pythium*, *Rhizoctonia*), damping-off, ataques de trozadores y deficiencias por exceso de humedad. El biochard contribuye a disminuir estos problemas al mejorar la aireación y el equilibrio microbiológico del sustrato (Ruiz, 2014).

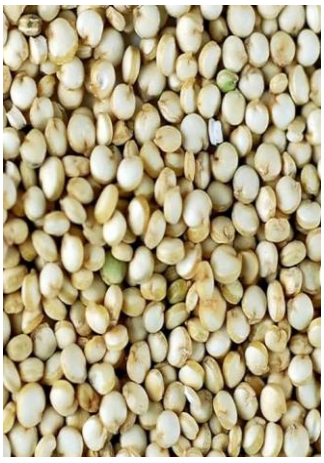
7.2. Quinua (Chenopodium quinoa)

La quinua es considerada un pseudocereal de alto valor biológico por su balance óptimo de aminoácidos esenciales, especialmente lisina, metionina y treonina. Presenta vitaminas del complejo B, minerales como hierro, calcio y magnesio, y compuestos antioxidantes. Desde el punto de vista agronómico, la quinua muestra una notable tolerancia a estrés hídrico, salinidad y bajas temperaturas, lo que permite su cultivo en ambientes marginales. Su creciente demanda en mercados nacionales e internacionales incrementa su importancia económica para la agricultura familiar (Jacobsen, 2003).

7.2.1. Origen y distribución

La quinua tiene su centro de origen en los Andes centrales, siendo domesticada por culturas preincaicas. Actualmente se distribuye desde el nivel del mar hasta más de 4 000 msnm, mostrando gran plasticidad fenotípica frente a condiciones climáticas adversas como sequía, heladas y salinidad (Peralta I., Eduardo, 2016).

Tabla 3: *Clasificación Taxonómica Quinua (Chenopodium quinoa)*

Categoría	Clasificación	
Reino	Plantae	
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Subclase	Caryophyllidae	
Orden	Caryophyllales	
Familia	Amaranthaceae	
Subfamilia	Chenopodioideae	
Género	*Chenopodium*	
Especie	*Chenopodium quinoa* Willd.	
Nombre común	Quinua	

7.2. 2. Morfología

Raíz. Pivotante con raíces secundarias superficiales, eficiente en absorción de agua y nutrientes (FAO, 2013).

Tallo. Cilíndrico, erecto y estriado, con función de soporte y transporte vascular (Jacobsen, 2003).

Hojas. Simples, alternas, romboidales u ovaladas, con fotosíntesis C3 (Mamani, 2017).

Flores. Pequeñas, hermafroditas, agrupadas en panículas (FAO, 2013).

Fruto. Aquenio con una sola semilla (FAO, La quinua: Cultivo ancestral para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. , 2019).

Semilla. Pequeña, cubierta por saponinas, rica en almidón y proteínas (FAO, La quinua: Cultivo ancestral para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. , 2019).

7.2.3. Fases fenológicas

- Germinación (0–3 Días)
- Emergencia (3–6 Días)
- Desarrollo vegetativo inicial (6–20 Días)
- Crecimiento vegetativo (20–45 Días)
- Diferenciación floral (45–60 Días)
- Floración (60–80 Días)
- Llenado de grano (80–110 Días)
- Madurez fisiológica (110–140 Días)

Trasplante desde pilones: 15–25 Días.

7.2.4. Manejo del cultivo

La quinua tolera suelos de pH 6,0–8,5 y estrés moderado. En pilones se controla humedad constante sin encharcamiento. El biochard mejora la estructura del sustrato, regula la disponibilidad de nutrientes y favorece un sistema radicular uniforme antes del trasplante (Jacobsen, 2003).

7.2.5. Problemas fitosanitarios

Durante la emergencia es afectada por encostramiento del suelo, insectos trozadores y pudriciones del cuello. En vivero, el exceso de humedad provoca damping-off. El biochard reduce compactación y mejora el drenaje, disminuyendo la incidencia de enfermedades (Tapia, 2015).

7.3 Amaranto (Amaranthus caudatus)

El amaranto, también conocido como kiwicha, posee semillas con proteína de alta calidad biológica, rica en lisina, calcio, hierro y fibra. Se caracteriza por su rápido crecimiento, elevada producción de biomasa y alta eficiencia en el uso del agua debido a su metabolismo fotosintético C4. Estas características permiten su cultivo en condiciones diversas y su incorporación en sistemas productivos sostenibles. Además, el amaranto tiene potencial agroindustrial para la elaboración de harinas, barras energéticas y productos nutracéuticos (Ruiz, 2014).

7.3.1 Origen y distribución

El amaranto posee un origen mesoamericano y andino. Fue ampliamente utilizado por culturas antiguas y hoy se encuentra distribuido en zonas templadas y tropicales, adaptándose a altitudes intermedias y altas, con temperaturas entre 15 y 25 °C (Ruiz, 2014).

Tabla 4: Clasificación Taxonómica Amaranto (Amaranthus caudatus)

Categoría	Clasificación	
Reino	Plantae	
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Subclase	Caryophyllidae	
Orden	Caryophyllales	
Familia	Amaranthaceae	
Subfamilia	Amaranthoideae	
Género	*Amaranthus*	
Especie	*Amaranthus caudatus* L.	
Nombre común	Amaranto, kiwicha	

7.3.2. Morfología

Raíz. Pivotante profunda con numerosas ramificaciones laterales (Tapia, 2015).

Tallo. Robusto, erecto y ramificado, con alta producción de biomasa (Ruiz, 2014).

Hojas. Simples, ovadas, con metabolismo fotosintético C4 (FAO, La quinua: Cultivo ancestral para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. , 2019).

Flores. Agrupadas en panojas densas colgantes (FAO, 2013).

Fruto. Cápsula tipo pixidio con semillas pequeñas (FAO, 2013).

Semilla. Diminuta, rica en proteínas, minerales y lípidos (FAO, La quinua: Cultivo ancestral para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. , 2019).

7.3.3. Fases fenológicas

- Germinación (0–3 Días)
- Emergencia (3–6 Días)
- Desarrollo vegetativo inicial (6–18 Días)
- Crecimiento vegetativo (18–40 Días)
- Inducción floral (40–55 Días)
- Floración (55–75 Días)
- Fructificación (75–100 Días)
- Madurez fisiológica (100–130 Días)
- Trasplante desde pilones: 15–20 Días.

7.3.4. Manejo del cultivo

El amaranto prefiere suelos bien drenados y temperaturas de 15–25 °C. En pilones se mantiene riego ligero y control de compactación. El biochard mejora la retención de agua y la aireación, favoreciendo el crecimiento rápido característico de esta especie (Allohverdi, 2021).

7.3.5. Problemas fitosanitarios

En las primeras etapas de desarrollo de los cultivos, los problemas fitosanitarios asociados principalmente al complejo de hongos causantes del *damping-off*, como *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium spp.*, pueden ocasionar pérdidas significativas en el establecimiento del cultivo. Diversos estudios reportan que estas enfermedades pueden reducir la emergencia y supervivencia de plántulas entre 10 y 40 % bajo condiciones normales de infestación, mientras que en ambientes con alta humedad y drenaje deficiente las pérdidas pueden superar el 50 % de la población establecida. Estas reducciones afectan directamente la densidad final de plantas, incrementan los costos de resiembra y disminuyen la uniformidad del cultivo, comprometiendo el rendimiento potencial (Agegnehu et al., 2017).

En conjunto, estos cultivos no solo contribuyen a la alimentación humana, sino que también fortalecen la economía rural y la conservación de la agrobiodiversidad andina.

7.3.6. Métodos de siembra

Tradicionalmente, estas especies se establecen mediante siembra directa a chorro continuo, lo que genera problemas de distribución irregular, desperdicio de semilla y mayor exposición a patógenos del suelo e insectos trozadores (Peralta, 2012).

La producción de plántulas en pilones representa una alternativa técnica que permite sembrar una semilla por alvéolo, controlar profundidad, humedad y sanidad, garantizando uniformidad y mayor porcentaje de establecimiento en campo definitivo. Este método reduce el consumo de semilla, mejora el vigor inicial y facilita el manejo agronómico posterior (Allohverdi, 2021).

7.3.7. Producción de plántulas en pilones

La producción de plántulas en pilones permite obtener plantas uniformes, sanas y vigorosas antes del trasplante. Las bandejas o piloneras facilitan el control del riego, la

temperatura y la humedad, así como la reducción de enfermedades del cuello y la raíz (Cargua Chávez, 2020).

Además, este sistema mejora la relación raíz/parte aérea, favoreciendo la adaptación al trasplante y reduciendo el estrés fisiológico en campo definitivo (Allohverdi, 2021).

8. BIOCHARD

El biochard se considera un material carbonoso obtenido mediante pirólisis de residuos orgánicos, utilizado como componente del sustrato en piloneras para la producción de plántulas de chocho (*Lupinus mutabilis*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*). Su inclusión responde a la necesidad de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del sustrato, con el fin de obtener plántulas con características fenológicas y fisiológicas adecuadas para el trasplante a campo definitivo (González-Marquetti, 2021).

El biochard se diferencia de otros materiales orgánicos por su alta estabilidad, lo cual permite que sus efectos se mantengan durante todo el periodo de vivero, influyendo directamente en variables como porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y desarrollo radicular, que son evaluadas en esta tesis (Pérez-Cabrera, 2021).

8.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR BIOCHARD EN EL ÁMBITO DE VIVERO

Ventajas del uso de biochard en viveros

El biochard es un material carbonoso obtenido mediante el pirólisis de biomasa en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno. En viveros, su incorporación al sustrato mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio de crecimiento. Una de sus principales ventajas es el incremento de la porosidad del sustrato, lo que favorece simultáneamente la retención de agua y la aireación radicular. Estas características

permiten mantener una mayor disponibilidad de humedad para las plántulas y reducen la frecuencia de riego, aspecto especialmente importante durante la producción de plantas en bandejas o fundas. Además, el biochard presenta una elevada superficie específica y una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que favorece la retención de nutrientes y disminuye las pérdidas por lixiviación (Kavitha, 2018).

Diversas investigaciones han demostrado que la incorporación de biochard en los sustratos de vivero mejora el desarrollo morfológico de las plántulas. Se han registrado incrementos en la longitud y volumen del sistema radicular, mayor diámetro del tallo, incremento de la biomasa seca aérea y radical, así como un mayor índice de calidad de las plántulas cuando el biochard se incorpora en proporciones adecuadas dentro del sustrato. Estos beneficios se atribuyen principalmente a una mejor disponibilidad de agua, mayor retención de nutrientes y mejores condiciones para el crecimiento de las raíces (Kocsis., 2022).

Otra ventaja importante del biochard es su capacidad para favorecer la actividad microbiológica del sustrato. Su estructura altamente porosa proporciona un hábitat adecuado para microorganismos benéficos, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos micorrízicos, contribuyendo a mejorar la absorción de nutrientes y el desarrollo de las plantas. Asimismo, diversos estudios indican que el biochard puede incrementar la resiliencia de las plántulas frente al estrés hídrico y mejorar la supervivencia durante el trasplante, debido a que favorece un sistema radical más desarrollado y funcional (Souza, 2023).

Desde el punto de vista ambiental, el biochard constituye una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. Su elevada estabilidad química permite almacenar carbono durante largos períodos en el suelo, contribuyendo al secuestro de carbono y a la mitigación del cambio climático. Además, puede disminuir el

uso de turba y otros componentes comerciales del sustrato cuya extracción genera impactos ambientales significativos (Kocsis., 2022).

Desventajas del uso de biochard en viveros

A pesar de sus múltiples beneficios, el biochard no produce resultados positivos en todas las condiciones de producción. Su efecto depende de factores como la materia prima utilizada, la temperatura de pirólisis, el tamaño de partícula, la dosis aplicada y las características del sustrato. Cuando se incorpora en cantidades excesivas puede incrementar el pH del medio de crecimiento, generando deficiencias de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc, especialmente en especies sensibles a condiciones alcalinas (Kavitha, 2018).

Otra limitación ampliamente documentada es que el biochard recién producido puede adsorber temporalmente nitrógeno y otros nutrientes disponibles en el sustrato, reduciendo su disponibilidad para las plántulas durante las primeras etapas de crecimiento. Por esta razón, numerosos investigadores recomiendan "activar" o "cargar" previamente el biochard mediante compost, microorganismos benéficos o soluciones nutritivas antes de incorporarlo al sustrato de vivero (Elsevier, 2016).

Asimismo, la calidad del biochard puede variar considerablemente dependiendo del proceso de fabricación. Cuando el pirólisis no se realiza bajo condiciones controladas, pueden permanecer compuestos potencialmente tóxicos, como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), alquitranes u otras sustancias que afectan la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Por ello, es indispensable utilizar biochard de calidad certificada y producido bajo parámetros técnicos adecuados (Kocsis., 2022).

Finalmente, aunque numerosos estudios reportan beneficios del biochard, la respuesta de las plantas no es universal. Algunas investigaciones muestran que ciertas especies presentan respuestas neutras o incluso negativas cuando se emplean dosis elevadas o

biochard con características inadecuadas. En consecuencia, su utilización debe basarse en ensayos previos para determinar la dosis óptima según la especie vegetal, el tipo de vivero y las propiedades del sustrato empleado (Allohverdi, 2021).

8.2. DOSIS RECOMENDADA DE BIOCHARD EN ENSAYOS

Diversos estudios han evaluado la aplicación de biochard en viveros y producción de plántulas, utilizando dosis aplicadas al sustrato en diferentes especies agrícolas y forestales. En investigaciones realizadas con cultivos hortícolas y forestales en fase de vivero, se han utilizado cantidades equivalentes a aproximadamente 50 a 200 g de biochard por contenedor o planta, dependiendo del volumen del sustrato. Por ejemplo, en plántulas de aguacate (*Persea americana*), algunos ensayos han reportado aplicaciones de biochard en niveles bajos y medios equivalentes a dosis cercanas a 50–100 g por planta, observándose mejoras en el crecimiento radicular y en la retención de humedad del sustrato. De manera similar, en la producción de plántulas forestales como pino (*Pinus ponderosa*), se han aplicado dosis equivalentes a 100–150 g por unidad experimental, lo que permitió mejorar la calidad de las plantas y la eficiencia en el uso de nutrientes. Asimismo, en sistemas de vivero con especies hortícolas, se han evaluado aplicaciones de biochard en rangos aproximados de 50 g (bajo), 100 g (medio) y 150 g (alto) por planta, observándose que las dosis intermedias suelen generar mejores respuestas en crecimiento y desarrollo. En general, la literatura indica que el biochard en viveros puede aplicarse en rangos de dosis bajas a medias por contenedor, siempre dependiendo del volumen del sustrato y del tipo de especie evaluada (Joseph, 2020).

9. HIPOTESIS

Hipótesis Alternativa

La aplicación de diferentes dosis de biochard en la producción de plántulas de las especies andinas como chocho, quinua y amaranto mejorará significativamente sus características agronómicas para el trasplante al sitio definitivo.

Hipótesis Nula

La aplicación de diferentes dosis de biochard en la producción de plántulas de las especies andinas como chocho, quinua y amaranto no tendrá buenas características agronómicas para el trasplante al sitio definitivo.

Ubicación

La investigación se desarrolló en el sector de Salache, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, a una altitud aproximada de 2.730 msnm, con temperatura media de 15,8–23°C. La zona presenta suelos de origen volcánico, con buen contenido de materia orgánica y aptos para cultivos andinos.



PARTE METODOLÓGICA

Tabla 5: *Operacionalización de variables*

HIPÒTESIS	VARIABLES	INDICADOR	INDICES

Se identifico que el chocho, la quinua y el amaranto con el Biochard, sometido a distintas dosis de aplicación puede producir plántulas con características fenológicas y fisiológicas adecuadas para el trasplante.	VI: especies nativas VD: Biochard con las diferentes dosis	Porcentaje de germinación. Altura de plántula Diámetro de tallo. Número de hojas. Longitud radicular Volumen de la raíz. Porcentaje de prendimiento temperatura, humedad pH	Porcentaje cm. mm números cm ml porcentaje grados números

Datos evaluados

Porcentaje de germinación: Se evaluó a los 8 días después de la siembra, mediante conteo visual de plántulas emergidas respecto al total de semillas sembradas por tratamiento, expresándose en porcentaje.

Altura de planta: Se midió en centímetros desde el cuello de la planta hasta el ápice con regla milimetrada, iniciando la evaluación a los 8 días luego de la germinación, este dato se tomó cada 8 días hasta antes del trasplante

Diámetro de tallo: Se midió en milímetros con calibrador vernier, desde el cuello de la planta a partir de los 8 días luego de la germinación, este dato se tomó cada 8 días hasta antes del trasplante

Número de hojas: Se contabilizó de forma directa en la parcela neta de 10 plántulas de forma aleatoria, desde los 8 días, realizándose un conteo cada 7 días hasta el trasplante.

Longitud radicular: Se realizó un muestreo destructivo previo al trasplante, el cual se realizó a los 41 días después de la germinación en las especies chocho (*Lupinus mutabilis*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*). (la medida fue tomada desde el cuello hasta la cofia de la planta).

Volumen de la raíz: Se determinó al mismo tiempo que la longitud radicular, antes del trasplante, utilizando el método de desplazamiento de agua en probeta graduada, expresándose en mililitros.

10. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación cuantitativa: se consideró este enfoque, ya que se basa en la medición numérica de variables fenológicas en la producción de plántulas de chocho *(Lupinus mutabilis Sweet)*, quinua *(Chenopodium quinoa)* y amaranto *(Amaranthus caudatus)*, tales como porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud radicular, volumen de raíz. Estos datos permitieron analizar objetivamente el efecto de diferentes dosis de biochard como componente del sustrato en pilones.

Método experimental: debido a que se manipula de manera consensuada la variable independiente, que correspondían a las dosis de biochard incorporadas al sustrato, con el propósito de observar su influencia sobre el desarrollo de las plántulas. La experimentación se realizará bajo condiciones controladas en vivero, lo que permitirá comparar tratamientos y establecer relaciones causa–efecto entre el uso del biochard y la respuesta fenológica de las especies evaluadas.

Técnica de investigación:

La investigación empleo técnicas de campo y bibliográficas orientadas a evaluar el efecto de diferentes dosis de biochard como componente del sustrato en la producción de plántulas de chocho *(Lupinus mutabilis Sweet)*, quinua *(Chenopodium quinoa)* y amaranto *(Amaranthus caudatus)*.

Observación directa: Se aplicó la técnica de observación directa en campo, mediante el seguimiento periódico del desarrollo de las plántulas, registrando datos de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y volumen radicular, así como la incidencia y severidad de problemas fitosanitarios.

Libro de campo: Asimismo, se utilizó la técnica de registro en libro de campo, donde se anotaron cronológicamente todas las actividades realizadas, fechas de siembra, riegos, aplicación de biochard, condiciones ambientales y resultados obtenidos durante el proceso experimental.

Complementariamente, se empleó la técnica bibliográfica o documental, mediante la revisión de libros, artículos científicos, tesis y normas técnicas relacionadas con biochard, producción de plántulas, chocho, quinua y amaranto, lo que permitió sustentar teóricamente la investigación y comparar los resultados obtenidos con antecedentes científicos.

Factores en estudio para chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Factor: A Dosis de Biochard

d1: baja (50g de Biochard por kg de sustrato 5%)

d2: media (100g de Biochard por kg de sustrato 10%)

d3: alta (150g de Biochard por kg de sustrato 15%)

d4: sin Biochard (Hunt, 2022).

la cita de quien me recondo esas dosis

Tratamientos para Chocho

Tabla 6: *Tratamientos para Chocho*

Número	Simbología	Descripción
1	d1Ch	Chocho + dosis baja de Biochard
2	d2Ch	Chocho + dosis media de Biochard
3	d3Ch	Chocho + dosis alta de Biochard
4	d4Ch	Chocho sin Biochard

Factores en estudio para quinua (*Chenopodium quinoa)*

Factor: A Dosis de Biochard

d1: baja (50g de Biochard por kg de sustrato 5%)

d2: media (100g de Biochard por kg de sustrato 10%)

d3: alta (150g de Biochard por kg de sustrato 15%)

d4: sin Biochard (Hunt, 2022).

Tratamientos para Quinua

Tabla 7: *Tratamientos para Quinua*

1	d1Q	Quinua + dosis baja de Biochard
2	d2Q	Quinua + dosis media de Biochard
3	d3Q	Quinua + dosis alta de Biochard
4	d4Q	Quinua sin Biochard

Factores en estudio para amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Factor: A Dosis de Biochard

d1: baja (50g de Biochard por kg de sustrato 5%)

d2: media (100g de Biochard por kg de sustrato 10%)

d3: alta (150g de Biochard por kg de sustrato 15%)

d4: sin Biochard (Hunt, 2022).

Tratamientos para Amaranto

Tabla 8: *Tratamientos para Amaranto*

1	d1A	Amaranto + dosis baja de Biochard
2	d2A	Amaranto + dosis media de Biochard
3	d3A	Amaranto + dosis alta de Biochard
4	d4A	Amaranto sin Biochard

Diseño experimental

Se empleo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por cuatro tratamientos correspondientes a las dosis de Biochard: baja (50g), media (100g), alta (150g) y sin Biochard, distribuidos en seis repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales por especie.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ADEVA) utilizando el software Infostat. Posteriormente, las fuentes de variación que presentaron significancia estadística fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad ($p \leq 0,05$) (Ramzani, 2017).

Modelo matemático del ADEVA

El modelo lineal aditivo del análisis es:

$$Yijk= \mu + \rho k + \alpha i + \beta j + \varepsilon ijk$$

Donde:

- Yijk = valor observado.
- μ = media general.
- ρk = efecto del bloque o repetición.
- αi = efecto de la especie.
- βj = efecto de la dosis de biochard.
- εijk = error experimental

Esquema del ADEVA para chocho, quinua y amaranto

Tabla 9: *Esquema del Adeva para chocho, quinua y amaranto*

Fuente de variación	GL
Total	24-1=23
Repeticiones	6-1=5
Dosis de biochard	4-1=3
Error experimental	23-(5+3) =15

Metodología campo

Selección del material vegetal: prueba preliminar de germinación

Previo al establecimiento definitivo del ensayo, se realizó una prueba preliminar de porcentaje de germinación en bandejas plásticas con semilla de chocho, quinua y amaranto. Esta prueba tuvo como finalidad evaluar la viabilidad y el vigor germinativo de cada lote de semilla disponible, con el fin de seleccionar el material vegetal más adecuado antes de proceder a la siembra en las bandejas de germinación utilizadas para el desarrollo de la tesis.

Procedencia de las semillas y variedades utilizadas

Las semillas de chocho y amaranto fueron proporcionadas directamente por el Proyecto formativo SUSTENTO ANDINO, departamento de Andino. La semilla de quinua, fue adquirida directamente, del INIAP de la ciudad de Quito.

A continuación, se detallan las variedades empleadas para cada especie:

Tabla 10: *Especies y variedades empleadas*

Especie	Variedad utilizada	Procedencia
Chocho (Lupinus mutabilis)	Iniap 4-50 andina	Sustento Andino
Amaranto (Amaranthus spp.)	Selennaya sosulka	Sustento Andino
Quinua(Chenopodiumquinoa)	*Tunkahuan*	INIAP, Quito

Para todas las mezclas se empleó sustrato comercial de la marca kekkila. Con el fin de garantizar precisión en las cantidades utilizadas, se implementó el uso de dos balanzas: una destinada al pesaje del sustrato (mayor capacidad, en kilogramos) y otra destinada al pesaje del biochard (menor capacidad, en gramos).

Se utilizaron bandejas de piloneras con sustrato base, al cual se incorporó biochard según

cada tratamiento. En cada alvéolo se sembró dos semillas por especie a excepción del chocho. Antes del riego se registrará la temperatura y humedad ambiental mediante un medidor digital. El riego se realizará de forma manual y uniforme para evitar encharcamientos.

Se controló periódicamente la germinación, crecimiento y sanidad de las plántulas.

Antes del trasplante se efectuó un muestreo destructivo para evaluar longitud y volumen radicular. Todos los datos se registraron en el libro de campo.

Posterior al llenado de las bandejas con las mezclas correspondientes, éstas fueron cubiertas con plástico negro. Para mantener la humedad de la mezcla, favorecer la oscuridad requerida para el inicio de la germinación, y regular la temperatura interna del sustrato durante los primeros días. Se mantuvo así durante 3 días

Durante todo el periodo del ensayo se realizó un control diario de temperatura, humedad y pH del sustrato, en dos horarios fijos establecidos previamente: 7:30am y 4:30pm. Este registro permitió dar seguimiento a la variabilidad de las condiciones ambientales a lo largo del día y su posible efecto sobre el desarrollo de las plántulas.

- Variables registradas: temperatura, humedad, pH.
- Frecuencia: dos tomas diarias (07:30 y 16:30).
- Duración: todos los días durante el periodo de evaluación del ensayo.

De forma paralela al monitoreo ambiental, se realizó el control manual de malezas presentes en las bandejas experimentales, con el fin de evitar la competencia por espacio, luz y nutrientes con las plántulas en desarrollo.

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.1. Porcentaje de germinación en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 11: *Análisis de varianza porcentaje de germinación en chocho a los 3 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
biochard (dosis) ns	4,00	3	1,33	0,30	0,8227
repetición	50,00	5	10,00	2,27	0,1000
Error	66,00	15	4,40		
Total	120,00	23			
CV	2,12				

El análisis de varianza del porcentaje de germinación en chocho no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0,3; p = 0,8227, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 12: *Medias de porcentaje de germinación en chocho a los 3 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Medio	99,33
Baja	99,33
Cero	99
Alta	98,33

Los valores más altos correspondieron a la dosis media (99,33%), mientras que el menor promedio se registró en la dosis alta (98,33%). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 6) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. La germinación depende principalmente de la calidad fisiológica de la semilla y de la humedad y temperatura del sustrato durante los primeros días. El biochard puede modificar estas condiciones al mejorar la retención de humedad y la aireación del sustrato, aunque su efecto suele manifestarse con mayor claridad en etapas posteriores del desarrollo, más que en la fase inicial de emergencia. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Bastos, 2011). Quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

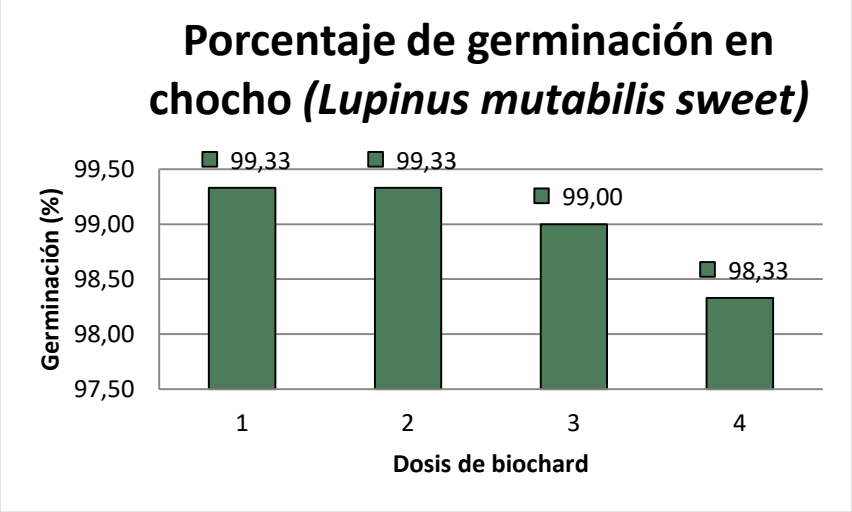


Figura 1: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en chocho a los 3 días*

La Figura 1 ilustra el comportamiento del porcentaje de germinación en chocho a los 3 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis media de biochard, con 99,33%, y el más bajo a la dosis alta de biochard, con 98,33%, una diferencia de 1%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 7), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Lema, 2023).en ensayos con enmiendas de biochard.

11.2. Porcentaje de germinación en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 13: *Análisis de varianza de porcentaje de germinación en quinua a los 3 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Biochard (dosis)	388	3	129,33	1,75	0,1	ns
Repetición	1845,33	5	369,07	5	0,0068	**
Error	1108	15	73,87			
Total	3341,33	23				
CV (%)	9,02					

El porcentaje de germinación en quinua no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 3 días (F = 1,75; p = 0,10, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 14: *Medias para porcentaje de germinación en quinua a los 3 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Medio	100
Cero	97
Alta	95,33
Baja	89

Los valores más altos correspondieron a la dosis media (100%), mientras que el menor promedio se registró en la dosis baja (89%). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 8) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. Este comportamiento coincide La germinación depende principalmente de la calidad fisiológica de la semilla y de la humedad y temperatura del sustrato durante los primeros días. al mejorar la retención de humedad y la aireación del sustrato, aunque su efecto suele manifestarse con mayor claridad en etapas posteriores del desarrollo, más que en la fase inicial de emergencia. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Lehmann (2001)

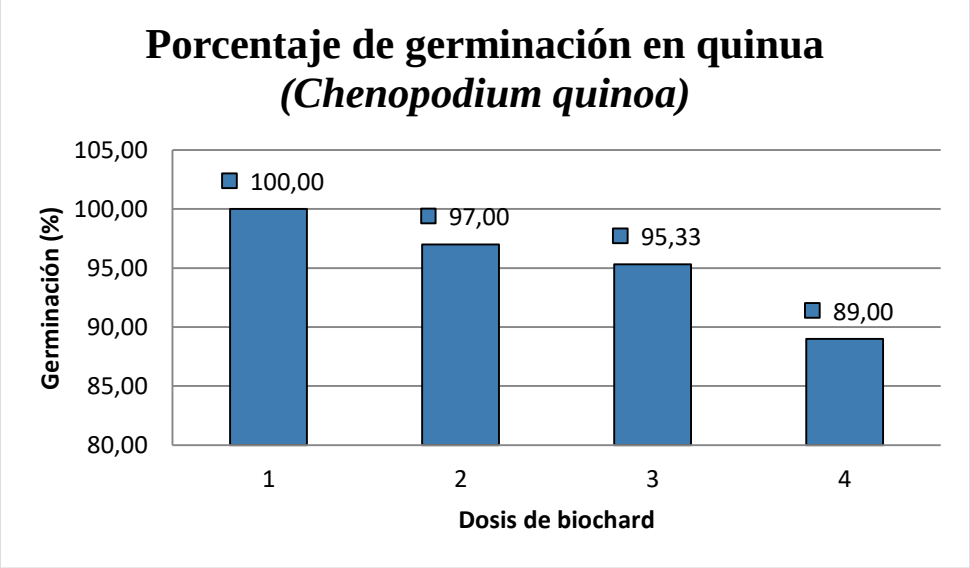


Figura 2: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en quinua a los 3 días*

La Figura 2 ilustra el comportamiento del porcentaje de germinación en quinua a los 3 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis media de biochard, con 100%, y el más bajo a la dosis baja de biochard, con 89%, una diferencia de 11%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 9), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Según (Lehmann, 2001) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.3. Porcentaje de germinación en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 15: *Análisis de varianza de porcentaje de germinación en amaranto a los 3 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	72,5	3	24,17	0,49	0,6956	ns
Repetición	3275,5	5	655,1	13,23	0,0001	***
Error	742,5	15	49,5			
Total	4090,5	23				
CV (%)	7,67					

El análisis de varianza del porcentaje de germinación en amaranto no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0,49; p = 0,6956, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 16: *Medias para porcentaje de germinación en amaranto a los 3 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Alta	93,67
Cero	92,67
Medio	91,67
Baja	89

Los valores más altos correspondieron a la dosis alta (93,67%), mientras que el menor promedio se registró en la dosis baja (89%). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 10) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. La germinación depende principalmente de la calidad fisiológica de la semilla y de la humedad y temperatura del sustrato durante los primeros días. El biochard puede modificar estas condiciones al mejorar la retención de humedad y la aireación del sustrato, aunque su efecto suele manifestarse con mayor claridad en etapas posteriores del desarrollo, más que en la fase inicial de emergencia. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Riaz (2025), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

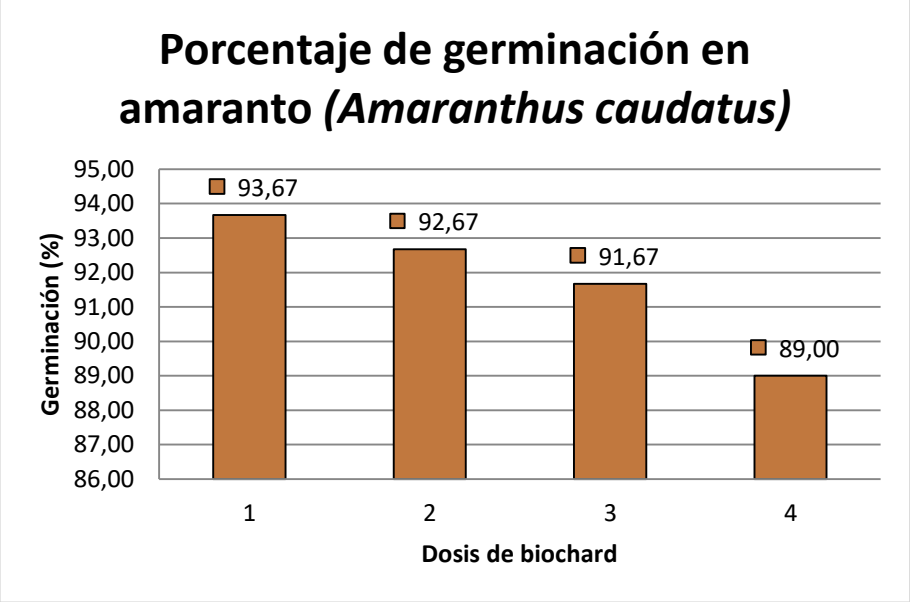


Figura 3: *Medias para factor dosis en la variable porcentaje de germinación en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 3 días*

La Figura 3 ilustra el comportamiento del porcentaje de germinación en amaranto a los 3 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis alta de biochard, con 93,67%, y el más bajo a la dosis baja de biochard, con 89%, una diferencia de 4,67%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 11), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por Riaz (2025) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.4. Diámetro de tallo en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 17: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días de ser implementado*

F.V.	SC 26 días	gl	CM	F	p-valor		SC 36 días	gl	CM	F	p-valor		SC 46 días	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	0,01	3	0,0032	0,58	0,6346	ns	0,02	3	0,01	0,91	0,4577	ns	0,02	3	0,01	1,28	0,3182	ns
Repetición	0,09	5	0,02	3,39	0,03	*	0,06	5	0,01	1,6	0,2195	ns	0,1	5	0,02	4,77	0,0083	**
Error	0,08	15	0,01				0,12	15	0,01				0,06	15	0,0042			
Total	0,18	23					0,2	23					0,18	23				

CV (%)	**14,65**	**16,9**	**11,01**

El diámetro de tallo en chocho no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 26 días (F = 0,58; p = 0,6346, ns); a los 36 días (F = 0,92; p = 0,4561, ns); a los 46 días (F = 1,28; p = 0,3182, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 18: *Medias para diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días de ser implementado*

Biochard (dosis) 26 días		Biochard (dosis) 36 días		Biochard (dosis) 46 días	
Baja	0,57	**Baja**	0,57	**Medio**	0,63
Alta	0,52	**Cero**	0,52	**Baja**	0,58
Medio	0,49	**Alta**	0,52	**Alta**	0,58
Cero	0,48	**Medio**	0,48	**Cero**	0,57

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 26 días, dosis baja (0,57 cm); a los 36 días, tratamiento testigo (0,52 cm); a los 46 días, dosis baja (0,58 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 12) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. El diámetro de tallo refleja la acumulación de biomasa estructural y depende de la disponibilidad sostenida de agua y nutrientes durante el ciclo de crecimiento. El biochard, al mejorar la porosidad y la capacidad de retención hídrica del sustrato, puede favorecer un mayor engrosamiento del tallo, aunque este efecto suele hacerse más evidente conforme avanza el tiempo de exposición al enmendante. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Atkinson, 2010).

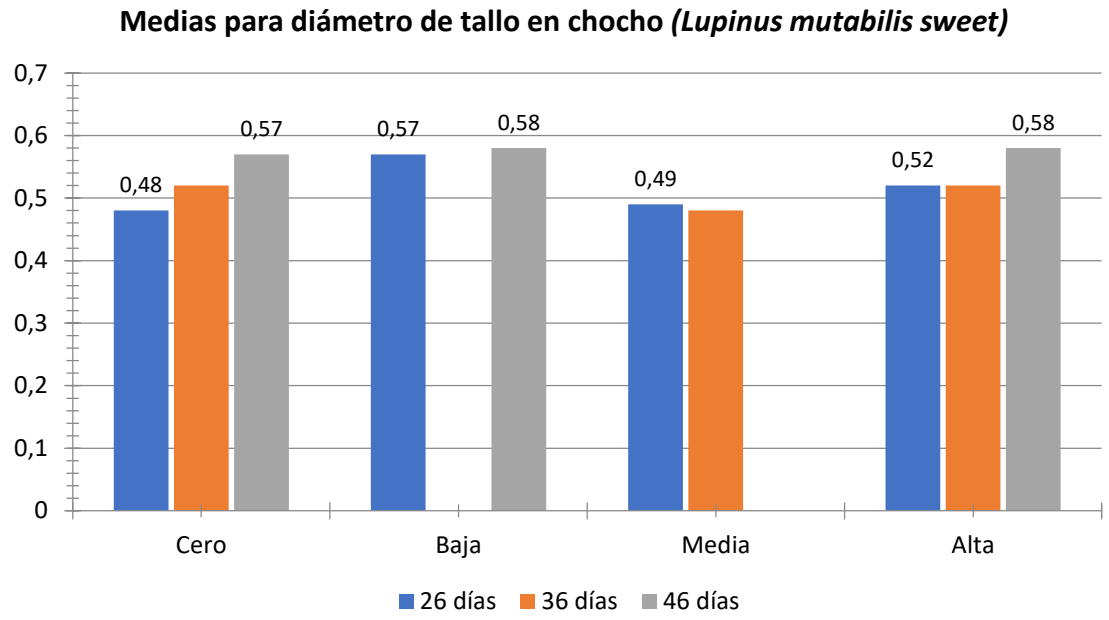


Figura 4: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días*

La Figura 4 ilustra el comportamiento del diámetro de tallo en chocho a los 26, 36 y 46 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 13). Coincide con lo reportado por Atkinson (2010) en ensayos con enmiendas de biochard.

En ninguna de las tres fechas evaluadas el biochard generó un incremento estadísticamente significativo del diámetro de tallo en chocho (Cuadro 12), por lo que, bajo las condiciones de este ensayo, no puede afirmarse que el biocarbón haya favorecido de forma comprobable esta variable en la especie.

11.5 Diámetro de tallo en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 19: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días de ser implementado*

	26 días						36 días						46 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,01	3	03	0,92	0,4561	ns	0,01	3	03	1,06	0,3948	ns	0,06	3	0,02	4,97	0,0137	*
Repetición	0,06	5	0,01	3,94	0,0177	*	0,05	5	0,01	4,03	0,0162	*	0,03	5	0,01	1,57	0,2272	ns
Error	0,05	15	3,00				0,04	15	2,7				0,06	15	4,00			
Total	0,11	23					0,1	23					0,15	23				
CV (%)	26,41						23,82						22,92					

El diámetro de tallo en quinua mostró un efecto estadísticamente significativo de la dosis de biochard a los 46 días (F = 4,97; p = 0,0137, *); en las demás fechas evaluadas (26, 36 días) no se detectaron diferencias significativas. El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 20: *Medias de diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días*

Biochard (dosis)	Medias	Biochard (dosis)	Medias	Biochard (dosis)	Medias
Medio	0,23	Medio	0,25	Medio	0,36
Cero	0,22	Cero	0,22	Alta	0,27
Baja	0,2	Alta	0,21	Cero	0,24
Alta	0,18	Baja	0,2	Baja	0,23

La dosis media de biochard se mantuvo como el tratamiento con el promedio más alto en las tres fechas evaluadas; esta tendencia es consistente con el efecto significativo detectado en el análisis de varianza a los 46 días (Cuadro 14), fecha en la que la diferencia sí es atribuible al biocarbón y no al azar. El diámetro de tallo refleja la acumulación de biomasa estructural y depende de la disponibilidad sostenida de agua y nutrientes durante el ciclo de crecimiento. El biochard, al mejorar la porosidad y la capacidad de retención hídrica del sustrato, puede favorecer un mayor engrosamiento del tallo, aunque este efecto

suele hacerse más evidente conforme avanza el tiempo de exposición al enmendante. Estos resultados son coherentes con lo señalado por Steiner (2022), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

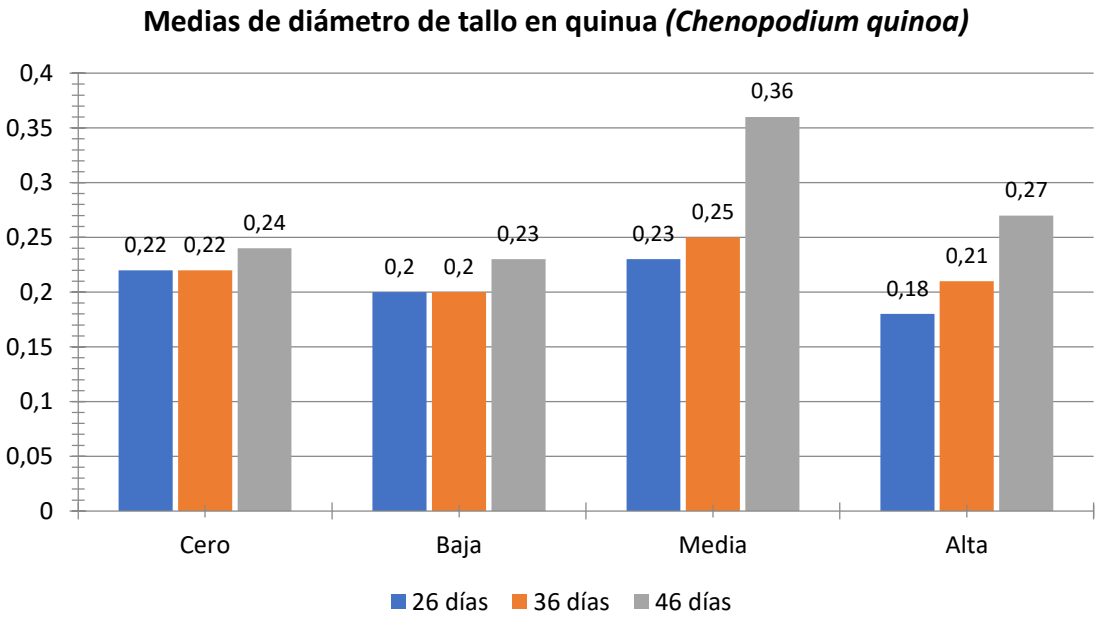


Figura 5: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días*

La Figura 5 ilustra el comportamiento del diámetro de tallo en quinua a los 26, 36 y 46 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 15). Coincide con lo reportado por Steiner (2022) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.6 Diámetro de tallo en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 21: *Análisis de varianza de diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días de ser implementado*

	26 días						36 días						46 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,01	3	03	1,82	0,1871	ns	0,01	3	03	1,56	0,2405	ns	0,02	3	0,01	3,35	0,0473	*
Repetición	0,06	5	0,01	8,13	0,0007	***	0,06	5	0,01	5,43	0,0048	**	0,14	5	0,03	15,31	0,0001	***
Error	0,02	15	03				0,04	15	203				0,03	15	1,80			
Total	0,09	23					0,11	23					0,18	23				
CV (%)	18,76						23,66						15,19					

El diámetro de tallo en amaranto mostró un efecto estadísticamente significativo de la dosis de biochard a los 46 días (F = 3,35; p = 0,0473, *); en las demás fechas evaluadas (26, 36 días) no se detectaron diferencias significativas. El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 22: *Medias del diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días de ser implementado*

Biochard (dosis)	Medias (26 días)	Medias (36 días)	Medias (46 días)
Alta	0,23	0,24	0,32
Medio	0,22	0,2	0,28
Cero	0,2	0,2	0,27
Baja	0,18	0,18	0,24

Los promedios más altos correspondieron a distintas dosis según la fecha, de forma consistente con el efecto significativo detectado a los 46 días en el análisis de varianza (Cuadro 16), único momento en que la diferencia entre dosis es atribuible al biocarbón. El diámetro de tallo refleja la acumulación de biomasa estructural y depende de la disponibilidad sostenida de agua y nutrientes durante el ciclo de crecimiento. El biochard, al mejorar la porosidad y la capacidad de retención hídrica del sustrato, puede favorecer

un mayor engrosamiento del tallo, aunque este efecto suele hacerse más evidente conforme avanza el tiempo de exposición al enmendante. Estos resultados son coherentes con lo señalado por Biederman (2012), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

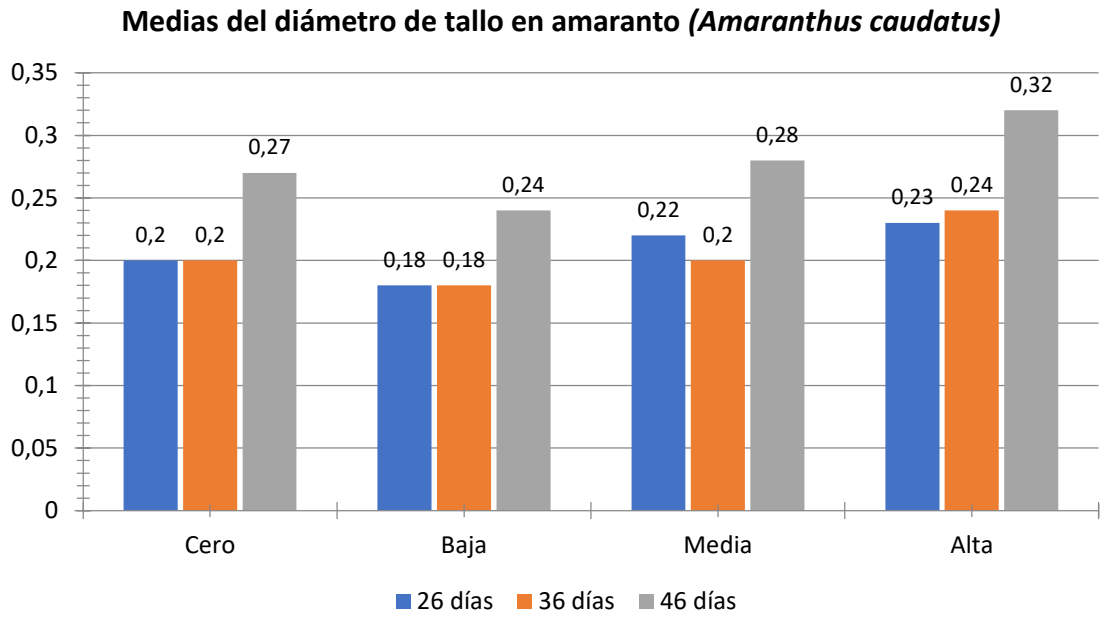


Figura 6: *Medias para factor dosis en la variable diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días*

La Figura 6 ilustra el comportamiento del diámetro de tallo en amaranto a los 26, 36 y 46 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 17). Coincide con lo reportado por Biederman (2012) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.7. Altura de planta en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 23: *Análisis de varianza de la altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días*

	8 días						16 días						24 días					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	2,84	3	9,501	0,6	0,6277	ns	0,26	3	0,09	0,04	0,9895	ns	1,47	3	0,49	0,12	0,9451	ns
Repetición	11,36	5	2,27	1,43	0,2706	ns	94,46	5	18,89	8,46	0,0006	***	184,1	5	36,82	9,27	0,0003	***
Error	23,86	15	1,59				33,51	15	2,23				59,58	15	3,97			
Total	38,06	23					128,2	23					245,1	23				
CV (%)	33,73						12,62						9,87					

La altura de planta en chocho no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 0,6; p = 0,6277, ns); a los 16 días (F = 0,04; p = 0,9895, ns); a los 24 días (F = 0,12; p = 0,9451, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 24*: Análisis de varianza de la altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días*

	32 días						**40 días**						**48 días**					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	5,82	3	1,94	0,45	0,7232	ns	4,11	3	1,37	0,22	0,8806	ns	17,14	3	5,71	1,33	0,3005	ns
Repetición	161,4	5	32,28	7,43	0,0011	**	200,8	5	40,17	6,46	0,0022	**	136,5	5	27,3	6,38	0,0023	**
Error	65,13	15	4,34				93,29	15	6,22				64,21	15	4,28			
Total	232,4	23					298,2	23					217,9	23				
CV (%)	8,4						8,46						6,51					

La altura de planta en chocho no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 0,45; p = 0,7232, ns); a los 40 días (F = 0,22; p = 0,8806, ns); a los 48 días (F = 1,33; p = 0,3005, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el

desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (López, 2010), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

Tabla 25: *Medias de altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días*

Biochard (dosis)	Medias (8 días)	Medias (16 días)	Medias (24 días)
Baja	4,08	12	20,54
Alta	4,04	11,88	20,29
Medio	3,58	11,75	20,08
Cero	3,25	11,75	19,88

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, dosis baja (4,08 cm); a los 16 días, tratamiento testigo (12 cm); a los 24 días, tratamiento testigo (20,54 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 18) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (López, 2010), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

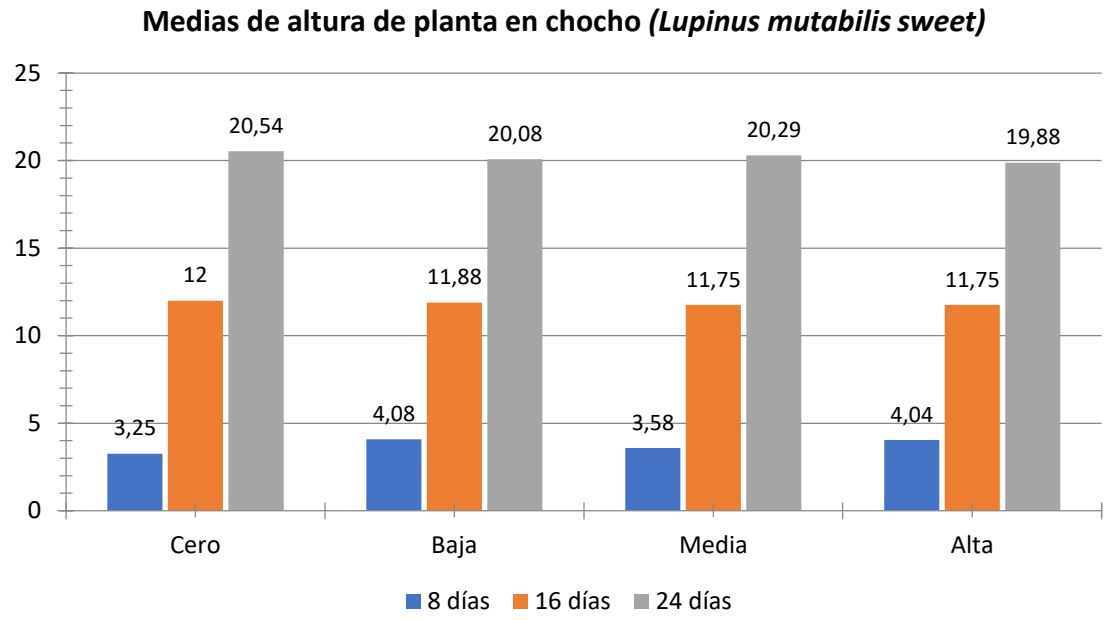


Figura 7: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 7 ilustra el comportamiento de la altura de planta en chocho a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 20). Coincide con lo reportado por (López, 2010) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 26: *Medias de altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Medio	25,42	29,71	31,5
Alta	25,04	29,54	32,25
Baja	24,67	29,88	32,79
Cero	24,08	28,79	30,54

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis media (25,42 cm); a los 40 días, dosis baja (29,88 cm); a los 48 días, dosis baja (32,79 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 19) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. Este comportamiento coincide con lo descrito por (López, 2010) sobre la respuesta variable de distintos cultivos al biochard.

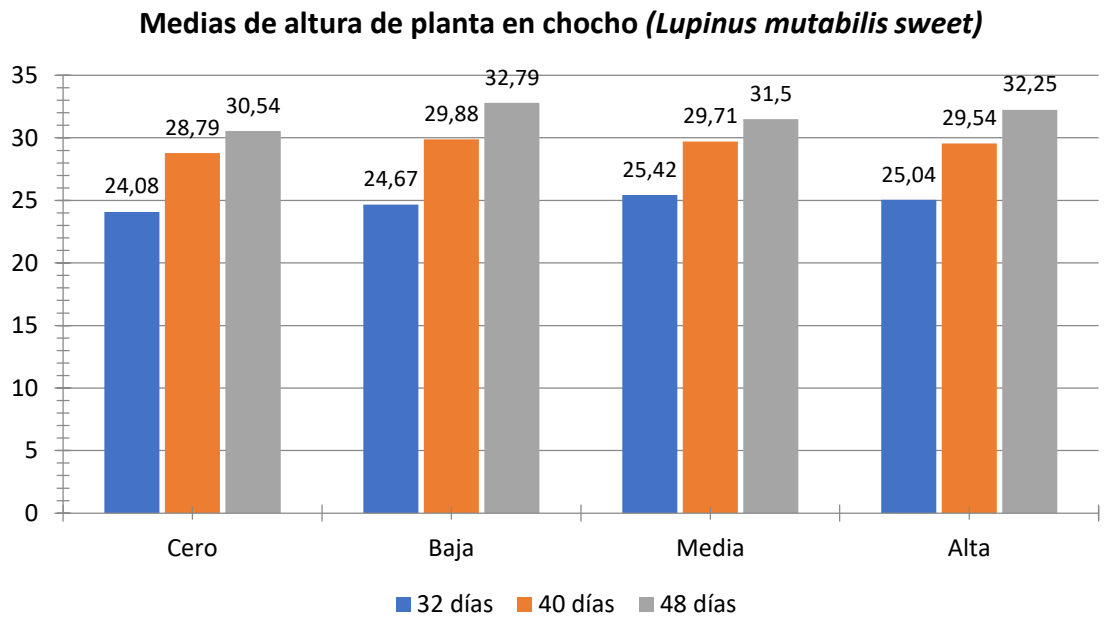


Figura 8: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 8 ilustra el comportamiento de la altura de planta en chocho a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no

corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 21). Coincide con lo reportado por (López, 2010) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.8. Altura de planta en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 27: *Análisis de varianza de altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días*

	8 días						16 días						24 días					
F.V.	**SC**	gl	CM	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,01	3	2,60E-03	0,01	0,9981	ns	1,35	3	4,50E-01	1,36	0,2922	ns	0,84	3	2,80	0,36	0,7812	ns
Repetición	1,67	5	0,33	1,54	0,2373	ns	9,64	5	1,93	5,84	0,0034	**	23,04	5	4,61	5,95	0,0032	**
Error	3,26	15	0,22				4,95	15	0,33				11,61	15	0,77			
Total	4,93	23					15,93	23					35,5	23				
CV (%)	18,72						14,85						16,15					

La altura de planta en quinua no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 0,6; p = 0,6277, ns); a los 16 días (F = 1,36; p = 0,2922, ns); a los 24 días (F = 0,12; p = 0,9451, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 28: *Análisis de varianza de altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días*

	32 días						40 días						48 días					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	7,25	3	2,4	2,14	0,1379	ns	24,79	3	8,26	2,86	0,0719	ns	53,84	3	1,80	2,93	0,0678	ns
Repetición	47,94	5	9,59	8,49	0,0006	***	82,55	5	16,51	5,72	0,0038	**	224,8	5	44,96	7,34	0,0012	**
Error	16,94	15	1,13				43,32	15	2,89				91,92	15	6,13			
Total	72,13	23					150,7	23					370,6	23				
CV (%)	13,94						17,31						22,87					

La altura de planta en quinua no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 2,14; p = 0,1379, ns); a los 40 días (F = 2,86; p = 0,0719, ns); a los 48 días (F = 2,93; p = 0,0678, ns). El ensayo se condujo

bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 29: *Medias de altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días*

Biochard (dosis)	Medias (8 días)	Medias (16 días)	Medias (24 días)
Cero	2,5	3,6	5,25
Medio	2,5	3,83	5,71
Alta	2,5	4,25	5,54
Baja	2,46	3,79	5,29

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, tratamiento testigo (2,5 cm); a los 16 días, dosis alta (4,25 cm); a los 24 días, dosis media (5,71 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 22) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Hui, 2021), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

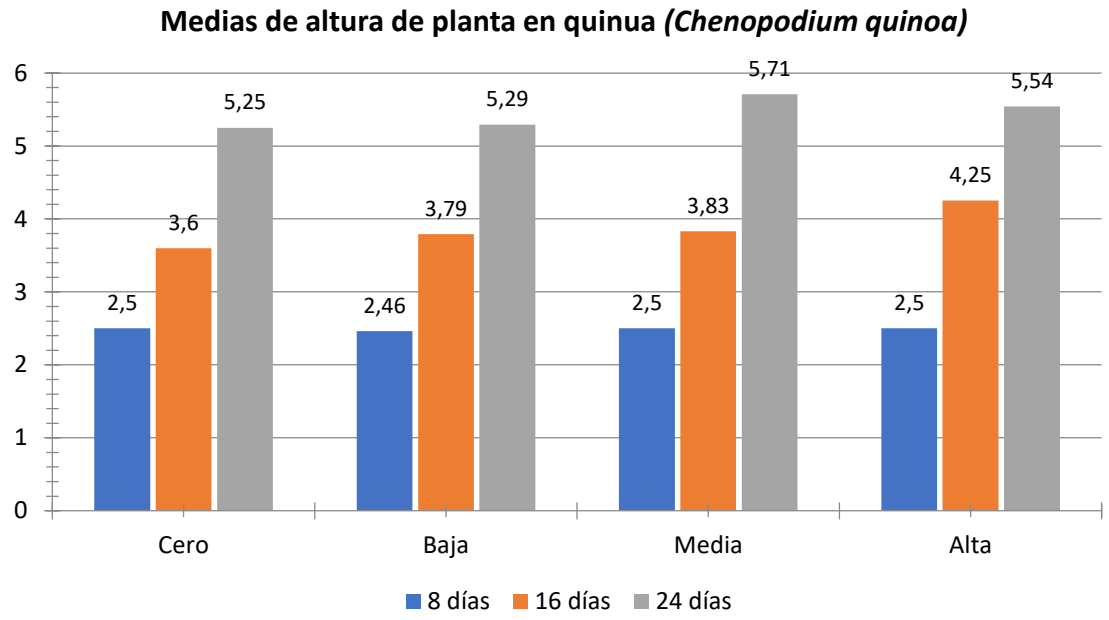


Figura 9: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 9 ilustra el comportamiento de la altura de planta en quinua a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 24). Coincide con lo reportado por (Hui, 2021) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 30: *Medias de altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Baja	29,88	9,67	9,67
Medio	29,71	11,13	13,08
Alta	29,54	10,17	11,25
Cero	28,79	8,31	9,29

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis baja (29,88 cm); a los 40 días, dosis media (11,13 cm); a los 48 días, dosis media (13,08 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 23) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Hui, 2021), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

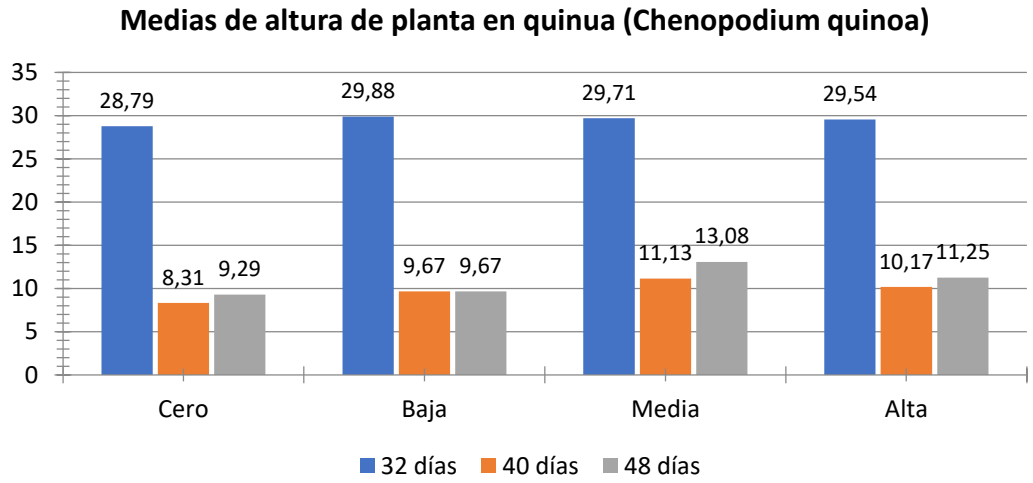


Figura 10: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 10 ilustra el comportamiento de la altura de planta en quinua a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 25). Coincide con lo reportado por (Hui, 021) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.9. Altura de planta en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 31: *Análisis de varianza de altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días*

	8 días						16 días						24 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,03	3	1,00	0,19	0,9018	ns	0,26	3	9,00	1,11	0,377	ns	0,4	3	1,30	0,56	0,6503	ns
Repetición	1,66	5	0,33	6,42	0,0022	**	1,08	5	0,22	2,77	0,0575	ns	11,04	5	2,21	9,17	0,0004	***
Error	0,78	15	0,05				1,16	15	0,08				3,61	15	0,24			
Total	2,47	23					2,5	23					15,06	23				
CV (%)	32,82						13,17						15,4					

La altura de planta en amaranto no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 0,19; p = 0,9018, ns); a los 16 días (F = 1,11; p = 0,377, ns); a los 24 días (F = 0,56; p = 0,6503, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 32: *Análisis de varianza de altura en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

	32 días						**40 días**						**48 días**					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,03	3	1,00	0,01	0,9986	ns	0,66	3	2,20	0,19	0,9039	ns	3,65	3	1,0	1,01	0,4177	ns
Repetición	25,06	5	5,01	5,24	0,0056	**	32,32	5	6,46	5,48	0,0046	**	43,34	5	8,67	7,15	0,0013	**
Error	14,35	15	0,96				17,68	15	1,18				18,17	15	1,21			

Total	39,44 23	50,66 23	65,16 23
CV (%)	26,89	25,89	24,29

La altura de planta en amaranto no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 0,01; p = 0,9986, ns); a los 40 días (F = 0,19; p = 0,9039, ns); a los 48 días (F = 1,01; p = 0,4177, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 33: *Medias de altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días*

Biochard (dosis)	Medias (8 días)	Medias (16 días)	Medias (24 días)
Cero	0,73	2,08	3,08
Medio	0,72	2,21	3,38
Alta	0,68	2,21	3,21
Baja	0,64	1,96	3,04

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, tratamiento testigo (0,73 cm); a los 16 días, dosis media (2,21 cm); a los 24 días, dosis media (3,38 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 26) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, de nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por

(Rivelli, 2023), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

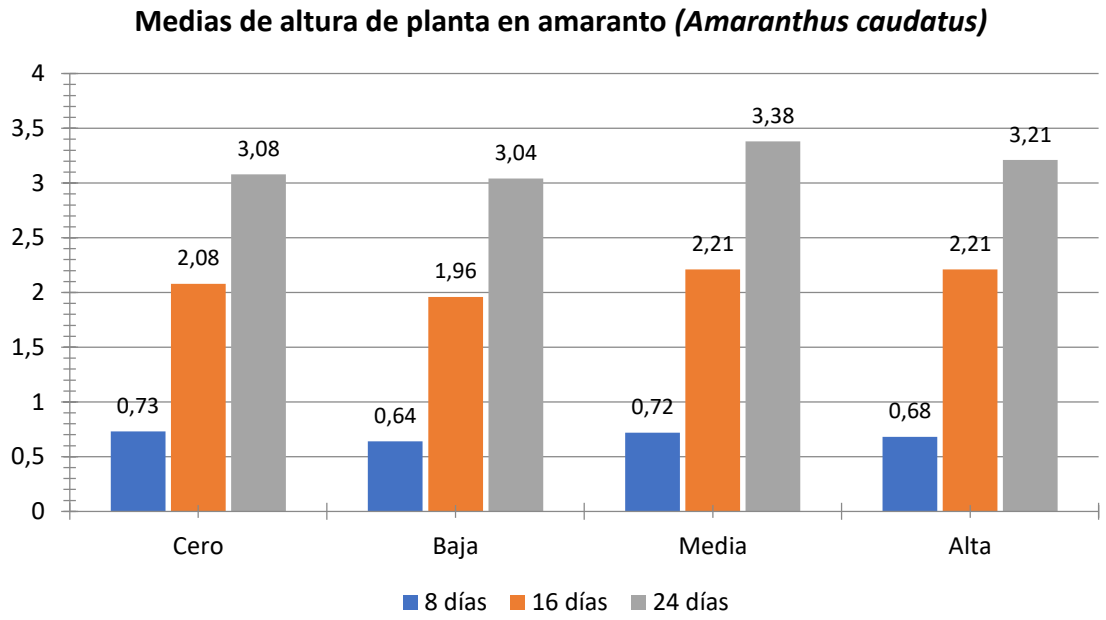


Figura 11: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 11 ilustra el comportamiento de la altura de planta en amaranto a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 28). Coincide con lo reportado por (Rivelli, 2023) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 34: *Medias de altura de planta en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Alta	3,67	4,17	4,75

Medio	3,67	4,43	5
Baja	3,63	4,21	4,42
Cero	3,58	3,97	3,96

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis alta (3,67 cm); a los 40 días, dosis media (4,43 cm); a los 48 días, dosis media (5 cm). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 27) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La altura de planta depende principalmente de la disponibilidad de agua, nutrientes y de la actividad meristemática apical durante el desarrollo. El biochard puede aportar micrositios de retención de nutrientes y humedad que favorecen el crecimiento, aunque su efecto puede quedar enmascarado cuando el sustrato base ya cuenta con una fertilidad adecuada para cubrir los requerimientos del cultivo. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Rivelli, 2023), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

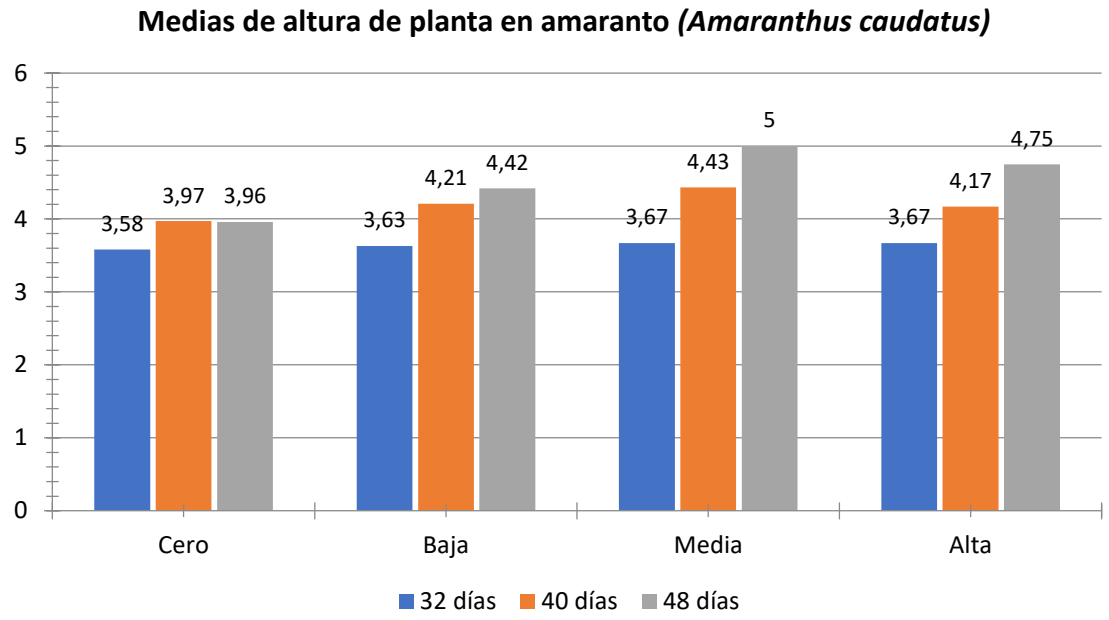


Figura 12: *Medias para factor dosis en la variable altura de planta en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 12 ilustra el comportamiento de la altura de planta en amaranto a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 29). Coincide con lo reportado por (Rivelli, 2023) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.10. Número de hojas en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 35: *Análisis de varianza de número de hojas en chocho a los 8, 16 y 24 días*

	8 días						16 días						24 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (dosis)	0,46	3	1,50	1	0,4199	ns	6,54	3	2,18	0,58	0,6343	ns	15,78	3	5,26	0,97	0,4337	ns
Repetición	1,88	5	0,38	2,45	0,0815	ns	33,96	5	6,79	1,82	0,1692	ns	205,6	5	41,12	7,56	0,001	**
Error	2,29	15	0,15				55,96	15	3,73				81,53	15	5,44			
Total	4,63	23					96,46	23					302,9	23				
CV (%)	18,39						15,71						11,77					

El número de hojas en chocho no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 1; p = 0,4199, ns); a los 16 días (F = 0,58; p = 0,6343, ns); a los 24 días (F = 0,97; p = 0,4337, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 36: *Análisis de varianza de número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días*

	32 días						36 días						48 días					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (D)	41,95	3	1,401	3,23	0,0523	ns	38,54	3	1,29	1,6	0,2301	ns	73,86	3	2,461	1,17	0,3547	ns
Repetición	194,2	5	38,84	8,98	0,0004	***	269,5	5	53,9	6,73	0,0018	**	239,7	5	47,94	2,27	0,0999	ns
Error	64,86	15	4,32				120,1	15	8,01				316,2	15	21,08			
Total	301	23					428,1	23					629,7	23				
CV (%)	6,69						7,37						10,1					

El número de hojas en chocho no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 3,23; p = 0,0523, ns); a los 40 días

(F = 1,6; p = 0,2301, ns); a los 48 días (F = 1,17; p = 0,3547, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 37: *Medias de número de hojas en chocho a los 8, 16 y 24 días*

Biochard (dosis)	Medias (8 días)	Medias (16 días)	Medias (24 días)
Alta	2,33	12,5	19,42
Baja	2,17	13	20,92
Cero	2	12,08	20,17
Medio	2	11,58	18,75

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, dosis alta (2,33 hojas); a los 16 días, dosis baja (13 hojas); a los 24 días, dosis baja (20,92 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 30) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard sobre esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para expresarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Beusch, 2021), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

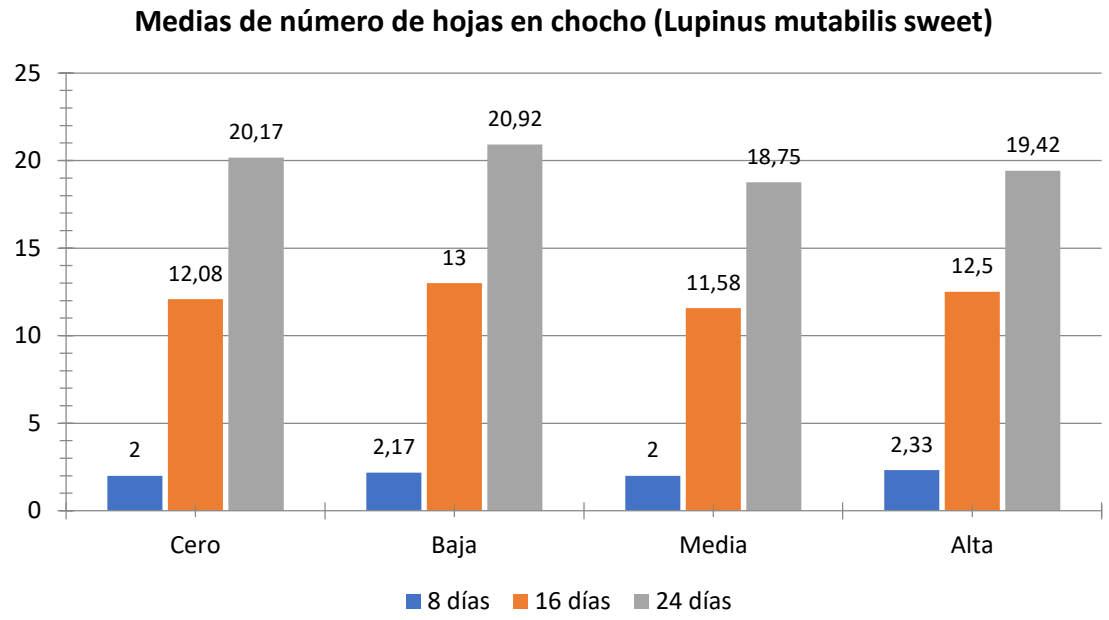


Figura 13: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 13 ilustra el comportamiento del número de hojas en chocho a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 32). Coincide con lo reportado por (Beusch, 2021) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 38: *Medias de número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Baja	33,33	39,83	47,83
Cero	30,83	37,33	43,67
Alta	30,25	39,42	46,5
Medio	30	36,92	43,92

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis baja (33,33 hojas); a los 40 días, dosis baja (39,83 hojas); a los 48 días, dosis baja (47,83 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 31) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard sobre esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para expresarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Beusch, 2021), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

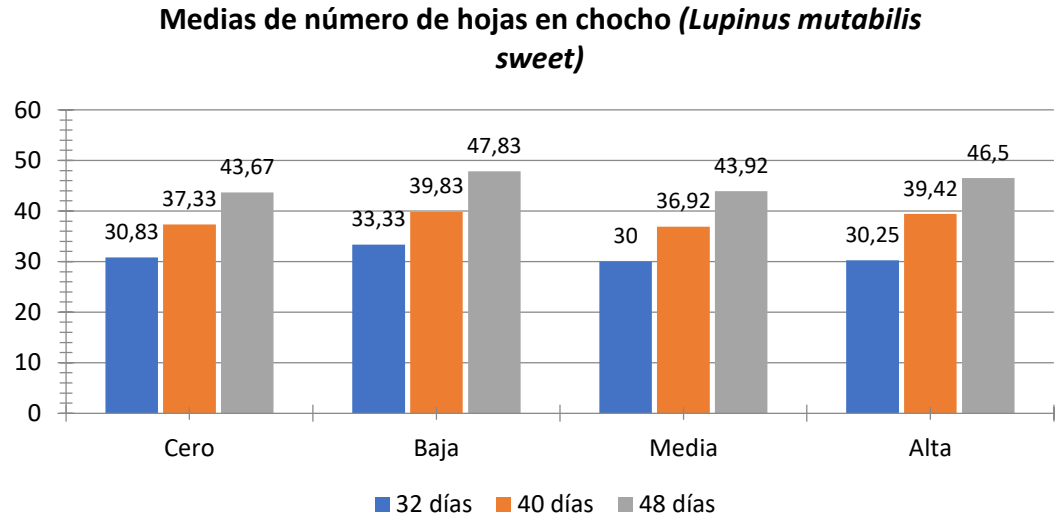


Figura 14: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 14 ilustra el comportamiento del número de hojas en chocho a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo

de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 33). Coincide con lo reportado por (Beusch, 2021) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.11. Número de hojas en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 39: *Análisis de varianza de número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días*

	8 días						16 días						24 días					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (D)	0,03	3	1,00	1	0,4199	ns	0,83	3	2,80	0,63	0,6098	ns	1,86	3	6,20	0,36	0,782	ns
Repetición	0,05	5	0,01	1	0,4509	ns	1	5	0,2	0,45	0,8068	ns	47,05	5	9,41	5,47	0,0046	**
Error	0,16	15	0,01				6,67	15	0,44				25,82	15	1,72			
Total	0,24	23					8,5	23					74,74	23				
CV (%)	5,05						17,78						23,77					

El número de hojas en quinua no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 1; p = 0,4199, ns); a los 16 días (F = 0,63; p = 0,6098, ns); a los 24 días (F = 0,36; p = 0,782, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 40: *Análisis de varianza de número de hojas en quinua a los 32, 40 y 48 días*

	32 días						40 días						48 días					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor		SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (D)	9,78	3	3,26	3,1	0,0586	ns	12,92	3	4,31	2,75	0,0791	ns	12,13	3	4,04	1,76	0,1984	ns
Repetición	58,43	5	11,69	11,1	0,0001	***	48,13	5	9,63	6,15	0,0027	**	57,83	5	11,57	5,03	0,0066	**
Error	15,78	15	1,05				23,46	15	1,56				34,5	15	2,3			
Total	83,99	23					84,5	23					104,5	23				
CV (%)	16,36						20,01						21,8					

El número de hojas en quinua no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 3,1; p = 0,0586, ns); a los 40 días (F = 2,75; p = 0,0791, ns); a los 48 días (F = 1,76; p = 0,1984, ns). El ensayo se llevó a cabo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 41: *Medias de número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días*

Biochard (dosis)	**Medias (8 días)**	**Medias (16 días)**	**Medias (24 días)**
Alta	2,08	3,83	5,83
Medio	2	3,67	5,75
Cero	2	3,5	5,17
Baja	2	4	5,33

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, dosis alta (2,08 hojas); a los 16 días, dosis baja (4 hojas); a los 24 días, dosis alta (5,83 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 34) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard a esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para manifestarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Kimetu, 2014), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

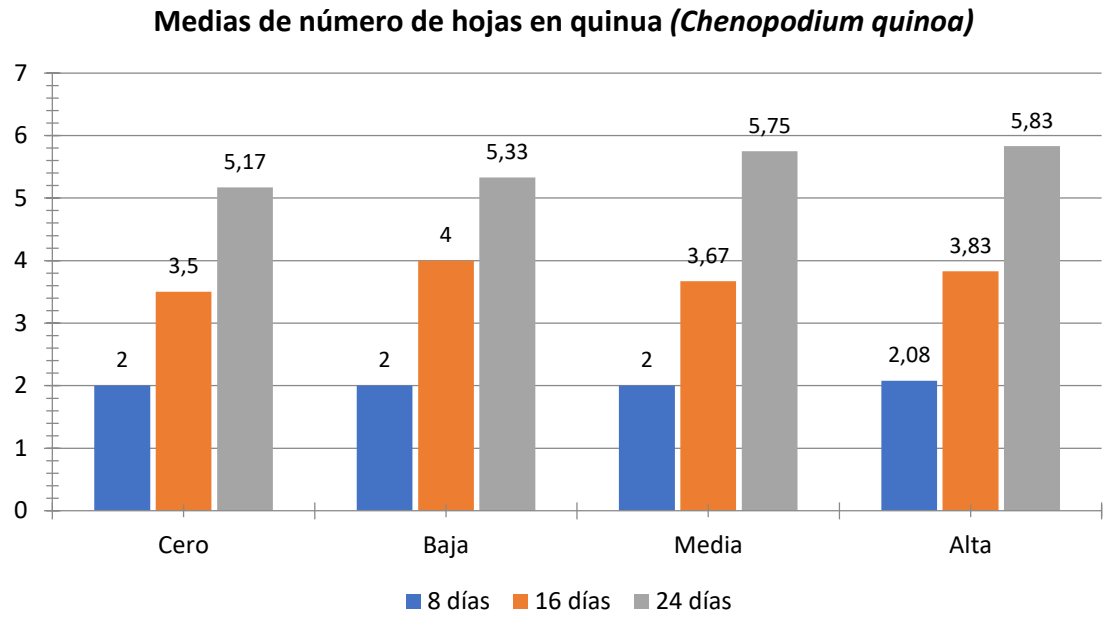


Figura 15: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 15 ilustra el comportamiento del número de hojas en quinua a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 36). Coincide con lo reportado por (Kimetu, 2014) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 42: *Medias de número de hojas en quinua a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Medio	7,33	7,33	8,17
Alta	6,17	6,42	6,67
Baja	5,92	5,92	6,67
Cero	5,67	5,69	6,33

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis media (7,33 hojas); a los 40 días, dosis media (7,33 hojas); a los 48 días, dosis media (8,17 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 35) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard a esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para manifestarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (Kimetu, 2014), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

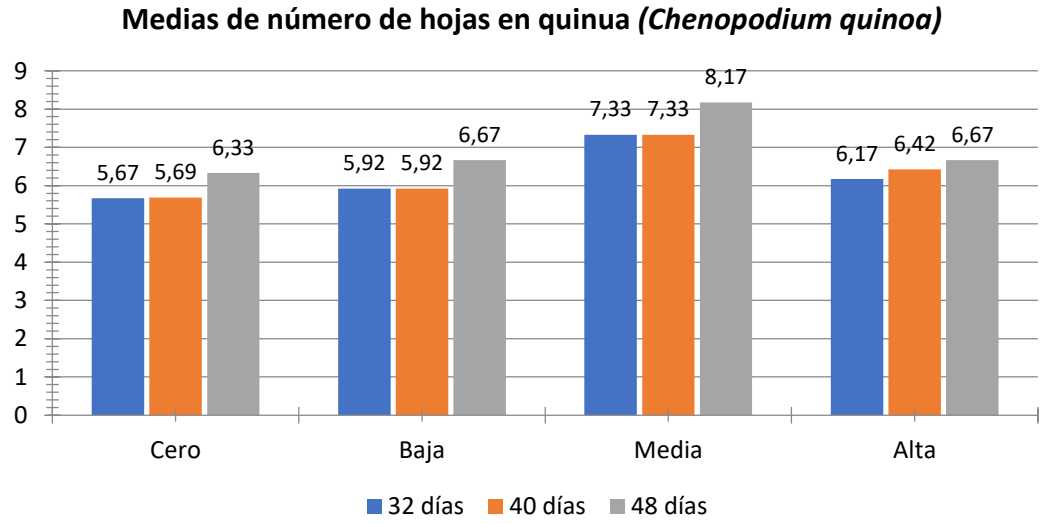


Figura 16: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en quinua (Chenopodium quinoa) a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 16 ilustra el comportamiento del número de hojas en quinua a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo

de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 37). Coincide con lo reportado por (Kimetu, 2014) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.12. Número de hojas en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 43: *Análisis de varianza de número de hojas en amaranto a los 8, 16 y 48 días*

	26 días						36 días						46 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (D)	0,13	3	4,00	1	0,4199	ns	0,03	3	1,00	1	0,4199	ns	0,03	3	1,00	0,03	0,9926	ns
Repetición	0,21	5	0,04	1	0,4509	ns	0,05	5	0,01	1	0,4509	ns	14,97	5	2,99	8,71	0,0005	***
Error	0,62	15	0,04				0,16	15	0,01				5,16	15	0,34			
Total	0,96	23					0,24	23					20,16	23				
CV (%)	10						3,43						17,06					

El número de hojas en amaranto no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 8 días (F = 1; p = 0,4199, ns); a los 16 días (F = 1; p = 0,4199, ns); a los 24 días (F = 0,03; p = 0,9926, ns). El ensayo se llevó a cabo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 44: *Análisis de varianza de número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

	26 días						36 días						46 días					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**		**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**	
Biochard (D)	2,46	3	8,20	1,48	0,2595	ns	0,95	3	3,20	0,31	0,8153	ns	1,38	3	4,60	0,87	0,4769	ns
Repetición	45,88	5	9,18	16,6	0,0001	***	21,09	5	4,22	4,19	0,014	*	24,21	5	4,84	9,22	0,0004	***
Error	8,29	15	0,55				15,11	15	1,01				7,88	15	0,53			

Total	56,63	23		37,16	23		33,46	23
CV (%)	18,02			25,49			15,95	

El número de hojas en amaranto no presentó diferencias significativas por dosis de biochard en ninguna de las fechas evaluadas: a los 32 días (F = 1,48; p = 0,2595, ns); a los 40 días (F = 0,31; p = 0,8153, ns); a los 48 días (F = 0,87; p = 0,4769, ns). El ensayo se llevó a cabo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 45: *Medias de número de hojas en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 8, 16 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (8 días)	Medias (16 días)	Medias (24 días)
Cero	2,17	3	3,5
Medio	2	3	3,42
Baja	2	2,92	3,42
Alta	2	3	3,42

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 8 días, tratamiento testigo (2,17 hojas); a los 16 días, tratamiento testigo (3 hojas); a los 24 días, tratamiento testigo (3,5 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 38) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard a esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para manifestarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (López,

2010), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

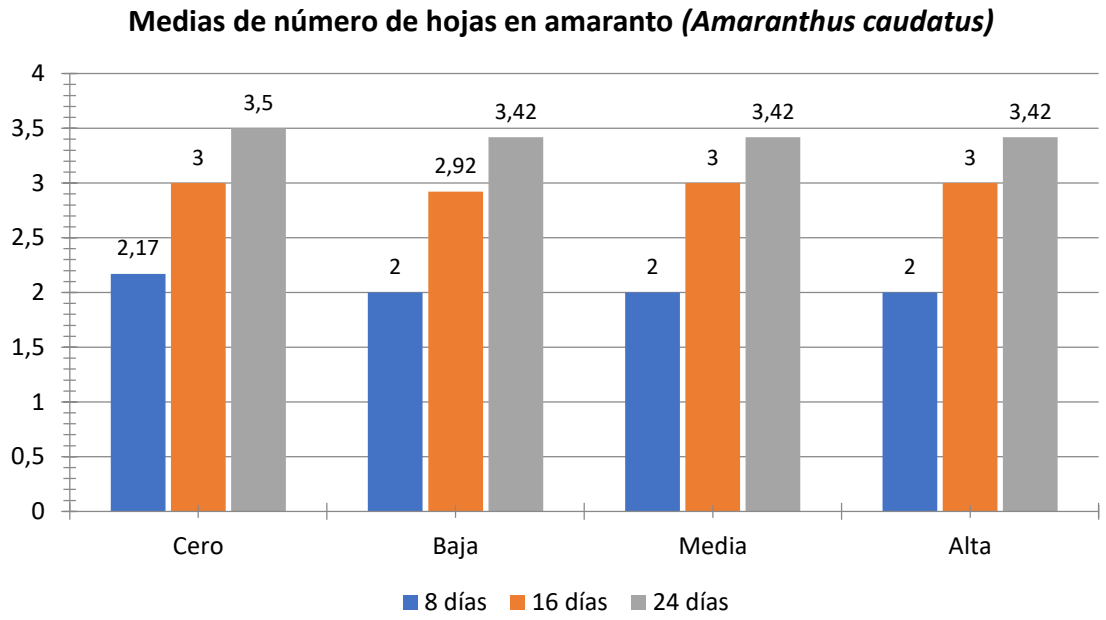


Figura 17: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 8, 16 y 24 días*

La Figura 17 ilustra el comportamiento del número de hojas en amaranto a los 8, 16 y 24 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 40). Coincide con lo reportado por (Woolf, 2010) en ensayos con enmiendas de biochard.

Tabla 46: *Medias de número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

Biochard (dosis)	Medias (32 días)	Medias (40 días)	Medias (48 días)
Alta	4,5	4,17	4,83
Cero	4,33	3,83	4,17

Baja	4	4,08	4,58
Medio	3,67	3,67	4,58

El tratamiento con el mayor promedio varió según la fecha evaluada: a los 32 días, dosis alta (4,5 hojas); a los 40 días, dosis alta (4,17 hojas); a los 48 días, dosis alta (4,83 hojas). Ningún nivel de dosis mantuvo una ventaja constante a lo largo del tiempo, y dado que el análisis de varianza (Cuadro 39) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en ninguna fecha, estas variaciones deben interpretarse como parte de la fluctuación propia del desarrollo fenológico de la planta. La emisión foliar está estrechamente asociada a la disponibilidad de nitrógeno y a la actividad fotosintética de la planta durante su desarrollo. El aporte del biochard a esta variable depende de su capacidad de retener nutrientes en el sustrato, por lo que su efecto podría requerir periodos de evaluación más prolongados para manifestarse de manera estadísticamente detectable. Estos resultados son coherentes con lo señalado por (López, 2010), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

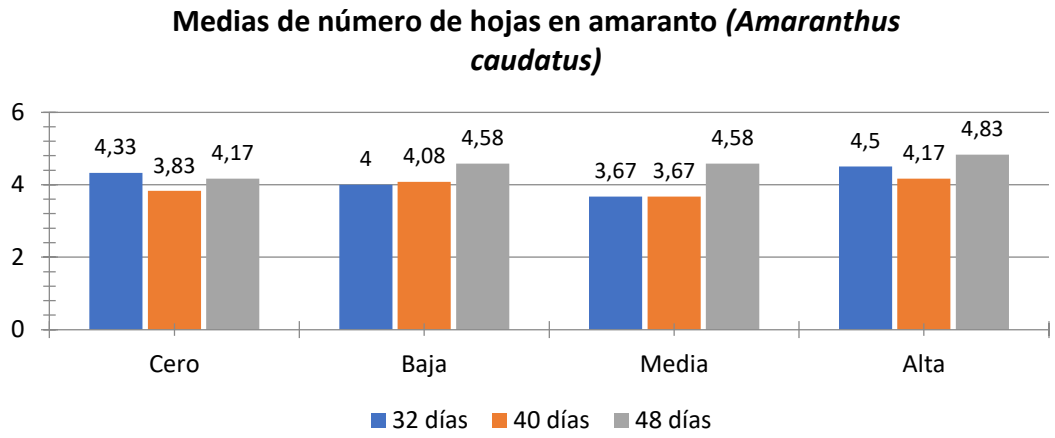


Figura 18: *Medias para factor dosis en la variable número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días*

La Figura 18 ilustra el comportamiento del número de hojas en amaranto a los 32, 40 y 48 días, mostrando una tendencia creciente y sostenida en todos los tratamientos a lo largo

de las fechas evaluadas. Las cuatro dosis mostraron un patrón de crecimiento similar entre sí a lo largo del periodo evaluado. Estas diferencias visuales entre grupos de barras no corresponden a un efecto estadísticamente significativo del biochard, conforme al análisis de varianza (Cuadro 41). Coincide con lo reportado por (Woolf, 2010) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.13 Longitud radicular en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 47: *Análisis de varianza de longitud radicular en chocho a los 49 hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Biochard (dosis)	1,95	3	6,50	0,04	0,9883 ns
Repetición	169,25	5	33,85	2,16	0,1145 ns
Error	235,6	15	15,71		
Total	406,8	23			
CV (%)	21,46				

El análisis de varianza de la longitud radicular en chocho no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.04; p = 0.9883, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 48: *Medias de longitud radicular en chocho a los 49 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Baja	18,95
Medio	18,44
Cero	18,28
Alta	18,22

Los valores más altos correspondieron a la dosis baja (18.95 cm), mientras que el menor promedio se registró en la dosis media (18.44 cm). Sin embargo, como el análisis de

varianza del Cuadro 42 no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El desarrollo radicular depende de la estructura física y de la retención de humedad del sustrato, factores que condicionan la exploración de las raíces en busca de agua y nutrientes. El biochard puede modificar estas propiedades del sustrato, aunque en bandejas de vivero, donde el espacio radicular es limitado, este efecto no siempre alcanza a expresarse de forma estadísticamente significativa. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Lema, 2023), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

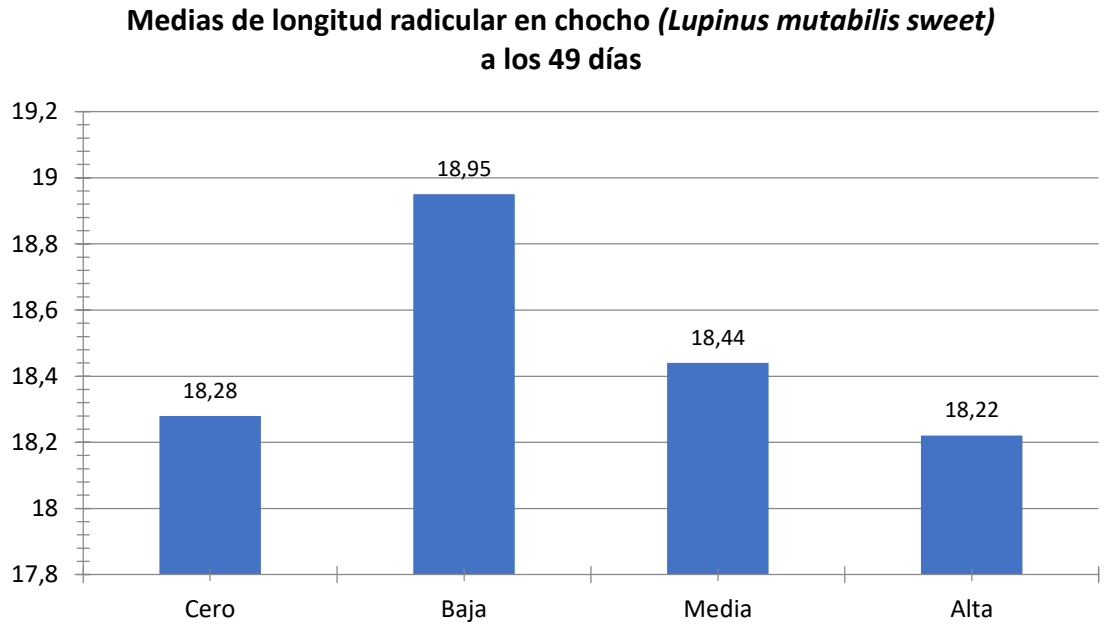


Figura 19: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en chocho (Lupinus mutabilis sweet) a los 49 días*

La Figura 19 ilustra el comportamiento de la longitud radicular en chocho a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis baja de biochard, con 18,95 cm, y el más bajo a la dosis alta de biochard, con 18,22 cm, una

diferencia de 0,73 cm. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 43), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Lema, 2023) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.14. Longitud radicular en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 49: *Análisis de varianza de longitud radicular en quinua a los 49 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	9,9	3	3,30	0,52	0,6772	ns
Repetición	320,93	5	64,19	10,04	0,0002	***
Error	95,86	15	6,39			
Total	426,7	23				
CV (%)	23,7					

El análisis de varianza de la longitud radicular en quinua no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.52; p = 0.6772, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 50: *Medias de longitud radicular en quinua a los 49 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Alta	11,67
Baja	10,78
Cero	10,23
Medio	10

Los valores más altos correspondieron a la dosis alta (11.67 cm), mientras que el menor promedio se registró en la dosis baja (10.78 cm). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 44) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada

se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El desarrollo radicular depende de la estructura física y de la retención de humedad del sustrato, factores que condicionan la exploración de las raíces en busca de agua y nutrientes. El biochard puede modificar estas propiedades del sustrato, aunque en bandejas de vivero, donde el espacio radicular es limitado, este efecto no siempre alcanza a expresarse de forma estadísticamente significativa. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Schulz, 2012), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

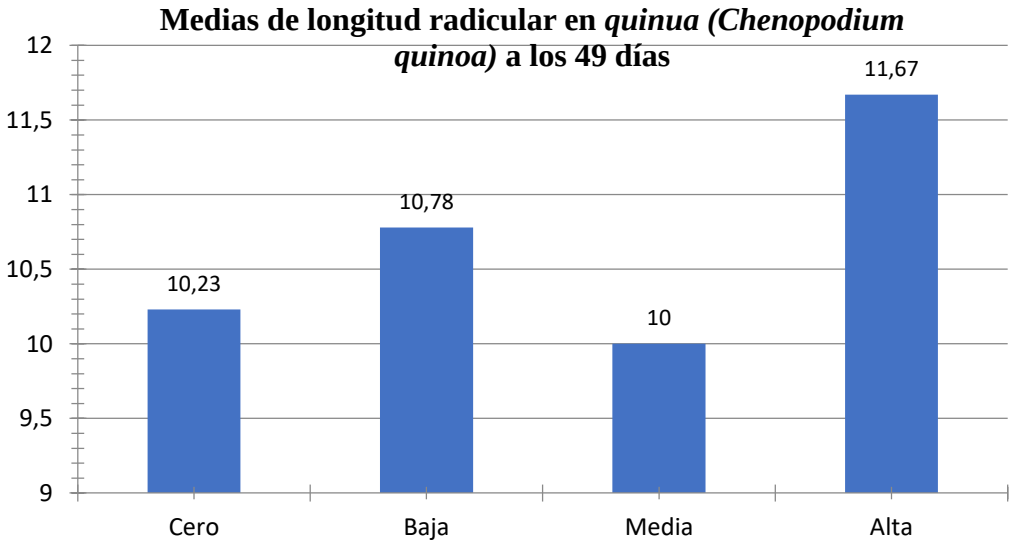


Figura 20: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en quinua a los 49 días*

La Figura 20 ilustra el comportamiento de la longitud radicular en quinua a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis alta de biochard, con 11,67 cm, y el más bajo a la dosis media de biochard, con 10 cm, una diferencia de 1,67 cm. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 45), por

lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Schulz, 2012) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.15. Longitud radicular en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 51: *Análisis de varianza de longitud radicular en amaranto a los 49 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	1,83	3	6,10	0,1	0,9597	ns
Repetición	21,19	5	4,24	0,68	0,6435	ns
Error	93,06	15	6,2			
Total	116,08	23				
CV (%)	35,37					

El análisis de varianza de la longitud radicular en amaranto no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.10; p = 0.9597, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 52: *Medias de longitud radicular en amaranto a los 49 días después de la siembra en bandejas de germinación*

Biochard (dosis)	**Medias**
Baja	7,45
Alta	7,06
Medio	7
Cero	6,67

Los valores más altos correspondieron a la dosis baja (7.45 cm), mientras que el menor promedio se registró en la dosis media (7.0 cm). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 46) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El desarrollo

radicular depende de la estructura física y de la retención de humedad del sustrato,

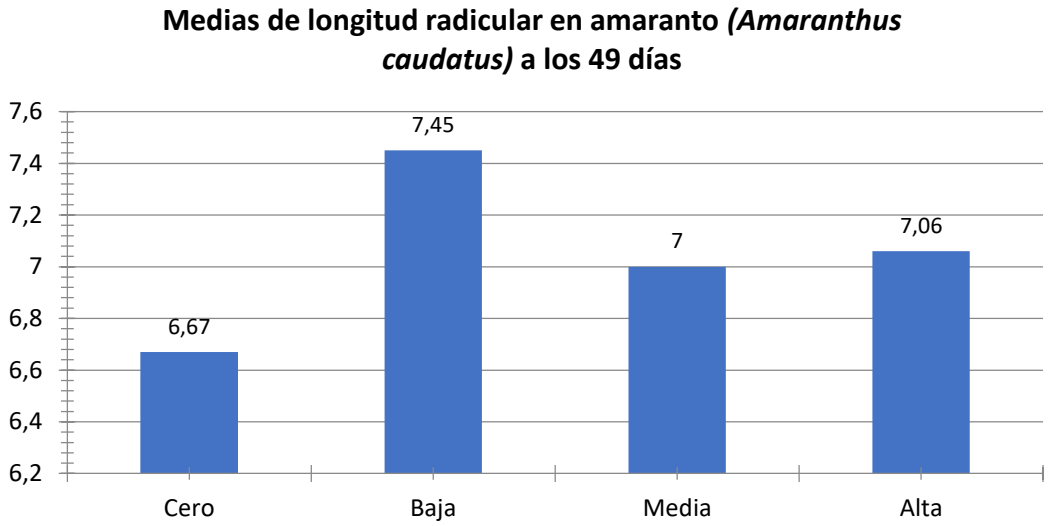


Figura 21: *Medias para factor dosis en la variable longitud radicular en amaranto a los 49 días*

factores que condicionan la exploración de las raíces en busca de agua y nutrientes. El biochard puede modificar estas propiedades del sustrato, aunque en bandejas de vivero, donde el espacio radicular es limitado, este efecto no siempre alcanza a expresarse de forma estadísticamente significativa. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Shiu, 2024), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

La Figura 21 ilustra el comportamiento de la longitud radicular en amaranto a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis baja de biochard, con 7,45 cm, y el más bajo al tratamiento testigo (sin biochard), con 6,67 cm, una diferencia de 0,78 cm. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 47), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Shiu, 2024) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.16. Volumen de la raíz en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 53: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en chocho a los 49 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Biochard (dosis)	0,2	3	7,00	0,26	0,854	ns
Repetición	2,99	5	0,6	2,29	0,0981	ns
Error	3,91	15	0,26			
Total	7,1	23				
CV (%)	22,15					

El análisis de varianza del volumen de la raíz en chocho no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.26; p = 0.8540, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 54: *Medias del volumen de la raíz en chocho a los 49 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Cero	2,45
Alta	2,33
Medio	2,22
Baja	2,22

Los valores más altos correspondieron a la dosis alta (2.33 cm^3), mientras que el menor promedio se registró en la dosis media (2.22 cm^3). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 48) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El volumen radicular refleja la capacidad de exploración del sustrato por parte del sistema radicular, la cual depende en buena medida de la especie evaluada y de la compactación del sustrato. El

biochard podría influir en esta variable al modificar la porosidad del medio, aunque su efecto suele ser secundario frente a las características propias de cada especie. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Rivera, 2022), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

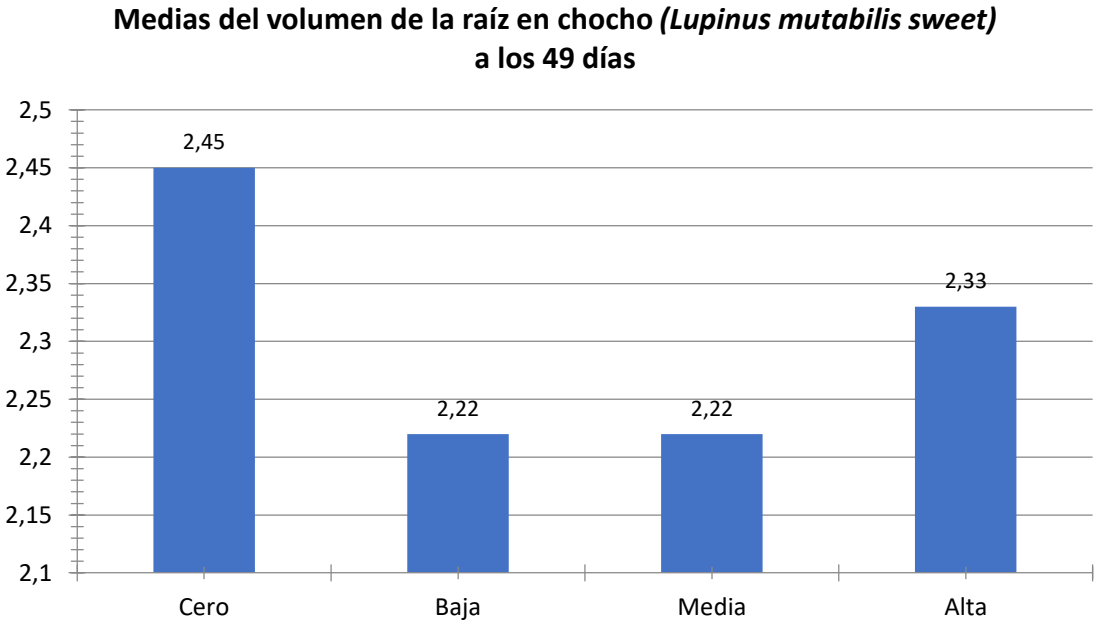


Figura 22: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en chocho a los 49 días*

La Figura 22 ilustra el comportamiento del volumen de la raíz en chocho a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió al tratamiento testigo (sin biochard), con 2,45 cm3, y el más bajo a la dosis baja de biochard, con 2,22 cm3, una diferencia de 0,23 cm3. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 49), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Rivera, 2022) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.17. Volumen de la raíz en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 55: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en quinua a los 49 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Biochard (dosis)	2,34	3	7,80	2,39	0,1095	ns
Repetición	2,47	5	0,49	1,51	0,2447	ns
Error	4,9	15	0,33			
Total	9,72	23				
CV (%)	32,16					

El análisis de varianza del volumen de la raíz en quinua no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 2.39; p = 0.1095, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 56: *Medias del volumen de la raíz en quinua a los 49 días hasta la siembra en bandejas de germinación*

Biochard (dosis)	Medias
Alta	2,28
Baja	1,78
Cero	1,61
Medio	1,44

Los valores más altos correspondieron a la dosis alta (2.28, cm3), mientras que el menor promedio se registró en la dosis baja (1.78 cm3). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 50) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El volumen radicular refleja la capacidad de exploración del sustrato por parte del sistema radicular, la cual

depende en buena medida de la especie evaluada y de la compactación del sustrato. El biochard podría influir en esta variable al modificar la porosidad del medio, aunque su efecto suele ser secundario frente a las características propias de cada especie. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (AlHarbi, 2023), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

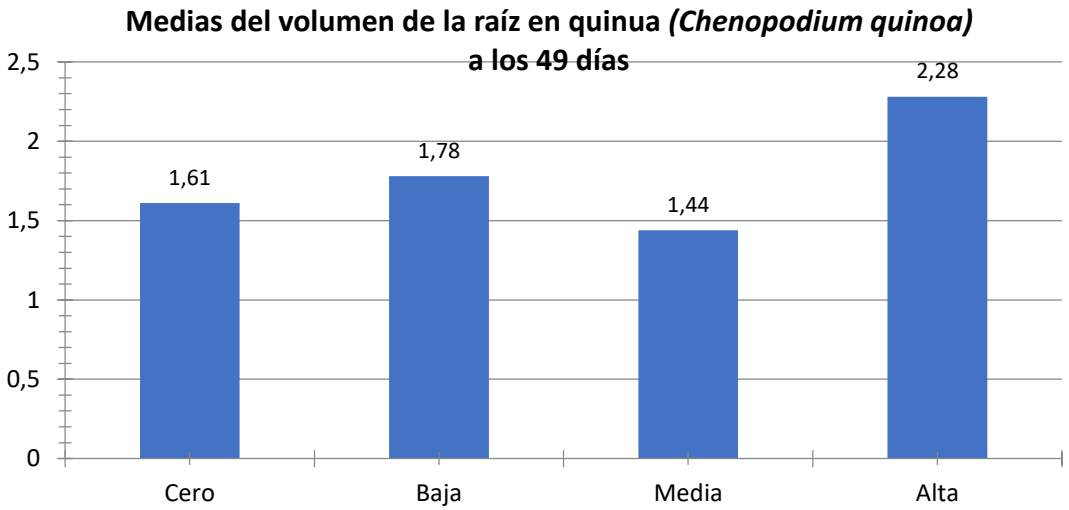


Figura 23: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en quinua (Chenopodium quinoa) a los 49 días*

La Figura 23 ilustra el comportamiento del volumen de la raíz en quinua a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis alta de biochard, con 2,28 cm3, y el más bajo a la dosis media de biochard, con 1,44 cm3, una diferencia de 0,84 cm3. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 51), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (AlHarbi, 2023) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.18. Volumen de la raíz en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 57: *Análisis de varianza del volumen de la raíz en amaranto (Amaranthus caudatus) a los 49 días hasta la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	0,18	3	6,00	1	0,4199	ns
Repetición	1,47	5	0,29	4,79	0,0082	**
Error	0,92	15	0,06			
Total	2,58	23				
CV (%)	22,34					

El análisis de varianza del volumen de la raíz en amaranto no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 1.0; p = 0.4199, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 58: *Medias del volumen de la raíz en amaranto a los 49 días hasta la siembra*

Biochard (dosis)	Medias
Cero	1,22
Medio	1,17
Alta	1,06
Baja	1

Los valores más altos correspondieron a la dosis media (1.17 cm3), mientras que el menor promedio se registró en la dosis alta (1.06. cm3). Sin embargo, como el análisis de varianza (Cuadro 52) no detectó diferencias estadísticamente significativas, estos tratamientos deben considerarse equivalentes entre sí, y la diferencia numérica observada se explica por la variabilidad natural entre unidades experimentales. El volumen radicular refleja la capacidad de exploración del sustrato por parte del sistema radicular, la cual depende en buena medida de la especie evaluada y de la compactación del sustrato. El

biochard podría influir en esta variable al modificar la porosidad del medio, aunque su efecto suele ser secundario frente a las características propias de cada especie. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Jaborova, 2023), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

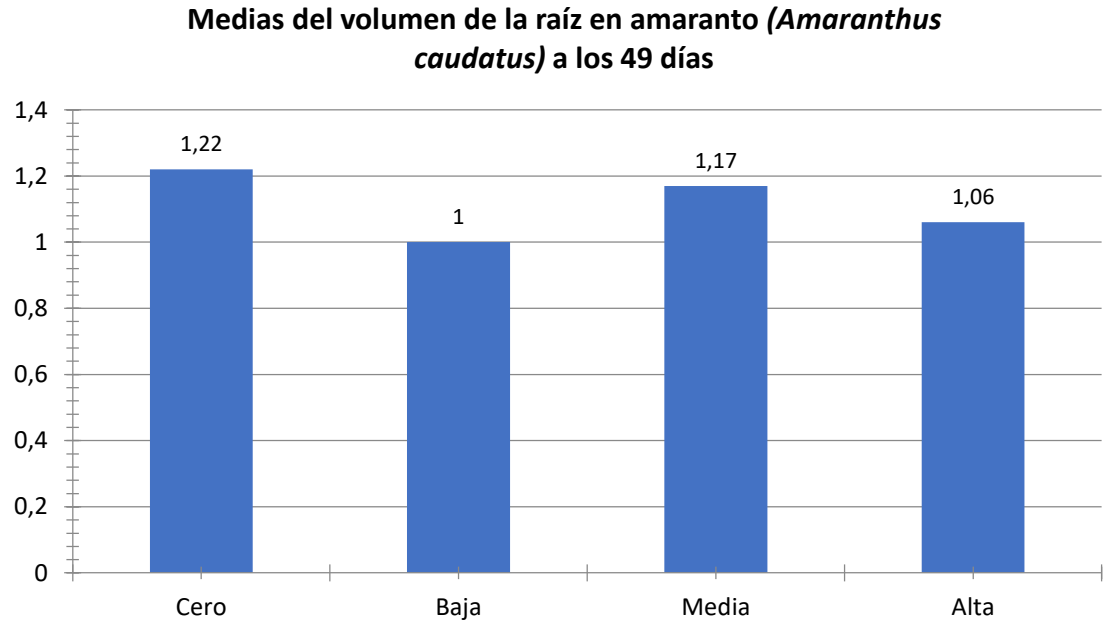


Figura 24: *Medias para factor dosis en la variable volumen de raíz en amaranto a los 49 días*

La Figura 24 ilustra el comportamiento del volumen de la raíz en amaranto a los 49 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió al tratamiento testigo (sin biochard), con 1,22 cm3, y el más bajo a la dosis baja de biochard, con 1 cm3, una diferencia de 0,22 cm3. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 53), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Jabborova, 2023) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.19. Adaptabilidad en chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*

Tabla 59: *Análisis de varianza de adaptabilidad en chocho a los 15 días de ser implementado en campo.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	864,13	3	2,88	0,76	0,5341	ns
Repetición	3952,71	5	790,54	2,08	0,1242	ns
Error	5689,13	15	379,28			
Total	10505,96	23				
CV (%)	22,33					

El análisis de varianza de la adaptabilidad en chocho no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.76; p = 0.5341, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 60: *Medias de adaptabilidad en chocho a los 15 días de ser implementado en campo.*

Biochard (dosis)	Medias
Alta	93,5
Cero	89,5
Baja	88,5
Medio	77,33

La dosis alta presentó la mayor adaptabilidad (93,5%), 4 puntos porcentuales por encima del testigo, aunque sin diferencia estadísticamente significativa. Todos los tratamientos superaron el 85% de adaptabilidad, un umbral considerado aceptable para leguminosas, lo que indica que el chocho tuvo una buena capacidad de establecimiento en campo independientemente de la dosis de biochard recibida en bandeja. La adaptabilidad en campo depende principalmente del vigor de la plántula al momento del trasplante y de las condiciones ambientales durante el establecimiento inicial. El biochard aplicado en fase

de vivero podría favorecer un mejor enraizamiento previo al trasplante, aunque su efecto sobre la supervivencia en campo está también condicionado por factores externos no controlados, como el clima y el manejo agronómico posterior. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Riaz, 2025), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

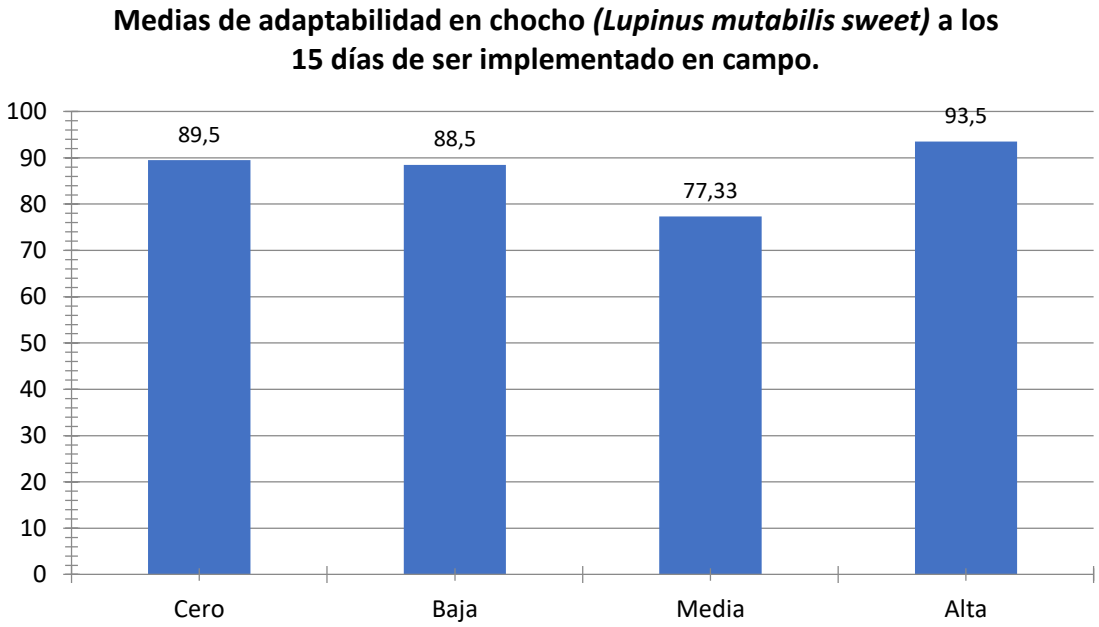


Figura 25: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en chocho a los 49 días*

La Figura 25 ilustra el comportamiento de la adaptabilidad en chocho a los 15 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis alta de biochard, con 93,5%, y el más bajo a la dosis media de biochard, con 77,33%, una diferencia de 16,17%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 55), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por Riaz (2025) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.20. Adaptabilidad en quinua *(Chenopodium quinoa)*

Tabla 61: *Análisis de varianza de adaptabilidad en quinua a los 15 días de ser implementada en campo.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	653,46	3	2,18	0,34	0,7959	ns
Repetición	4152,88	5	830,58	1,3	0,3152	ns
Error	9576,29	15	638,42			
Total	14382,63	23				
CV (%)	30,4					

El análisis de varianza de la adaptabilidad en quinua no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.34; p = 0.7959, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 62: *Medias de adaptabilidad en quinua a los 15 días de ser implementado en campo.*

Biochard (dosis)	Medias
Cero	89,83
Baja	86,5
Medio	79
Alta	77,17

El testigo presentó la mayor adaptabilidad (89,83%) y la dosis media la menor (79%); aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa, una adaptabilidad de 79% implica en la práctica una pérdida cercana al 21% de las plantas trasladadas a campo, lo que amerita atención en el manejo de esa dosis. La adaptabilidad en campo depende principalmente del vigor de la plántula al momento del trasplante y de las condiciones ambientales durante el establecimiento inicial. El biochard aplicado en fase de vivero podría favorecer un mejor enraizamiento previo al trasplante, aunque su efecto sobre la

supervivencia en campo está también condicionado por factores externos no controlados, como el clima y el manejo agronómico posterior. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Chen, 2025), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

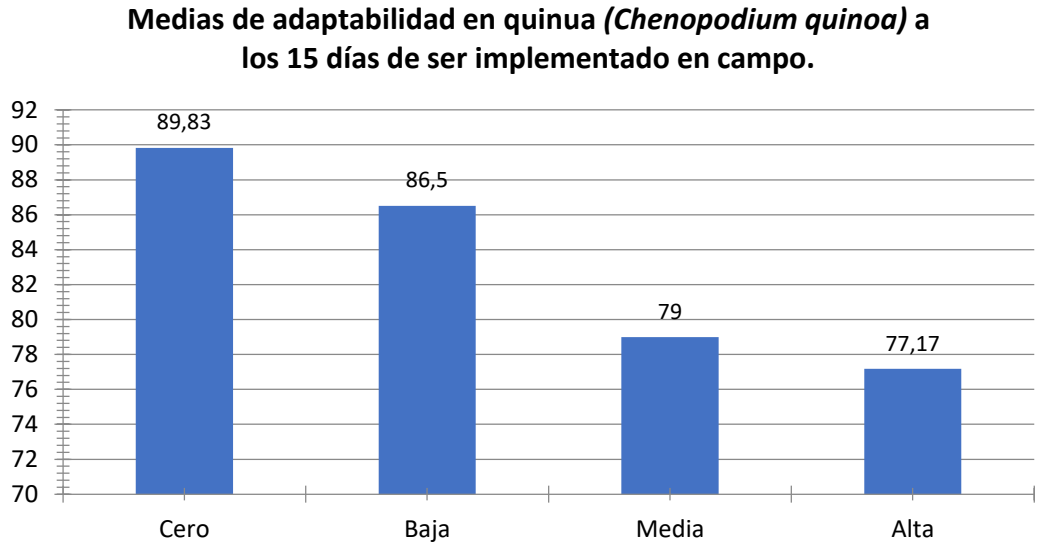


Figura 26: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en quinua a los 49 días*

La Figura 26 ilustra el comportamiento de la adaptabilidad en quinua a los 15 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió al tratamiento testigo (sin biochard), con 89,83%, y el más bajo a la dosis alta de biochard, con 77,17%, una diferencia de 12,66%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 57), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Chen, 2025) en ensayos con enmiendas de biochard.

11.21. Adaptabilidad en amaranto *(Amaranthus caudatus)*

Tabla 63: *Análisis de varianza de adaptabilidad en amaranto a los 15 días de ser implementado en campo*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Biochard (dosis)	1653,83	3	5,51	0,85	0,4863	ns
Repetición	4789,33	5	957,87	1,48	0,2533	ns
Error	9688,67	15	645,91			
Total	16131,83	23				
CV (%)	35,84					

El análisis de varianza de la adaptabilidad en amaranto no mostró diferencias significativas por dosis de biochard (F = 0.85; p = 0.4863, ns). El ensayo se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro dosis de biochard y seis repeticiones por tratamiento.

Tabla 64. *Medias de adaptabilidad en amaranto a los 15 días de ser implementado en campo.*

Biochard (dosis)	Medias
Medio	81,67
Cero	76,33
Alta	63
Baja	62,67

La dosis media presentó la mayor adaptabilidad (81,67%) y la dosis alta la menor (63%); aunque la prueba de medias no separó estadísticamente estos valores, una adaptabilidad de apenas 63% se considera insuficiente para garantizar una población adecuada del cultivo, por lo que la dosis alta de biochard no sería recomendable para amaranto bajo las condiciones evaluadas. La adaptabilidad en campo depende principalmente del vigor de la plántula al momento del trasplante y de las condiciones ambientales durante el establecimiento inicial. El biochard aplicado en fase de vivero podría favorecer un mejor enraizamiento previo al trasplante, aunque su efecto sobre la supervivencia en campo está

también condicionado por factores externos no controlados, como el clima y el manejo agronómico posterior. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Mishra, 2017), quien reporta hallazgos similares respecto al comportamiento del biochard en sustratos de vivero.

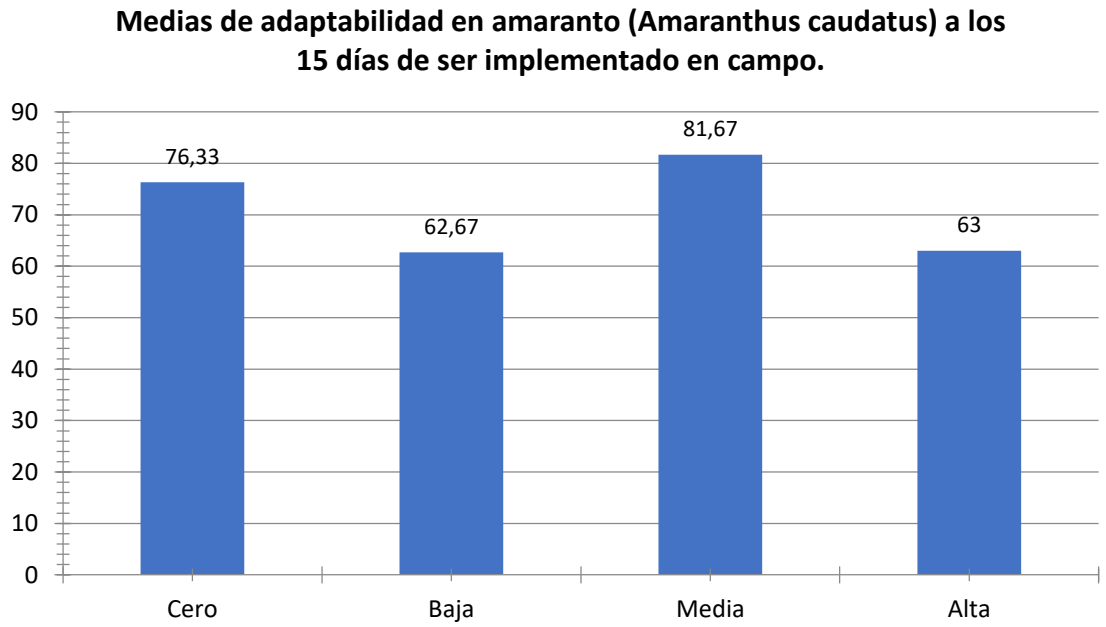


Figura 27: *Medias para factor dosis en la variable adaptabilidad en amaranto a los 49 días*

La Figura 27 ilustra el comportamiento de la adaptabilidad en amaranto a los 15 días, para las cuatro dosis de biochard evaluadas. El valor más alto correspondió a la dosis media de biochard, con 81,67%, y el más bajo a la dosis baja de biochard, con 62,67%, una diferencia de 19%. Esta brecha no fue estadísticamente significativa (Cuadro 59), por lo que los tratamientos se consideran equivalentes entre sí. Coincide con lo reportado por (Mishra, 2017) en ensayos con enmiendas de biochard.

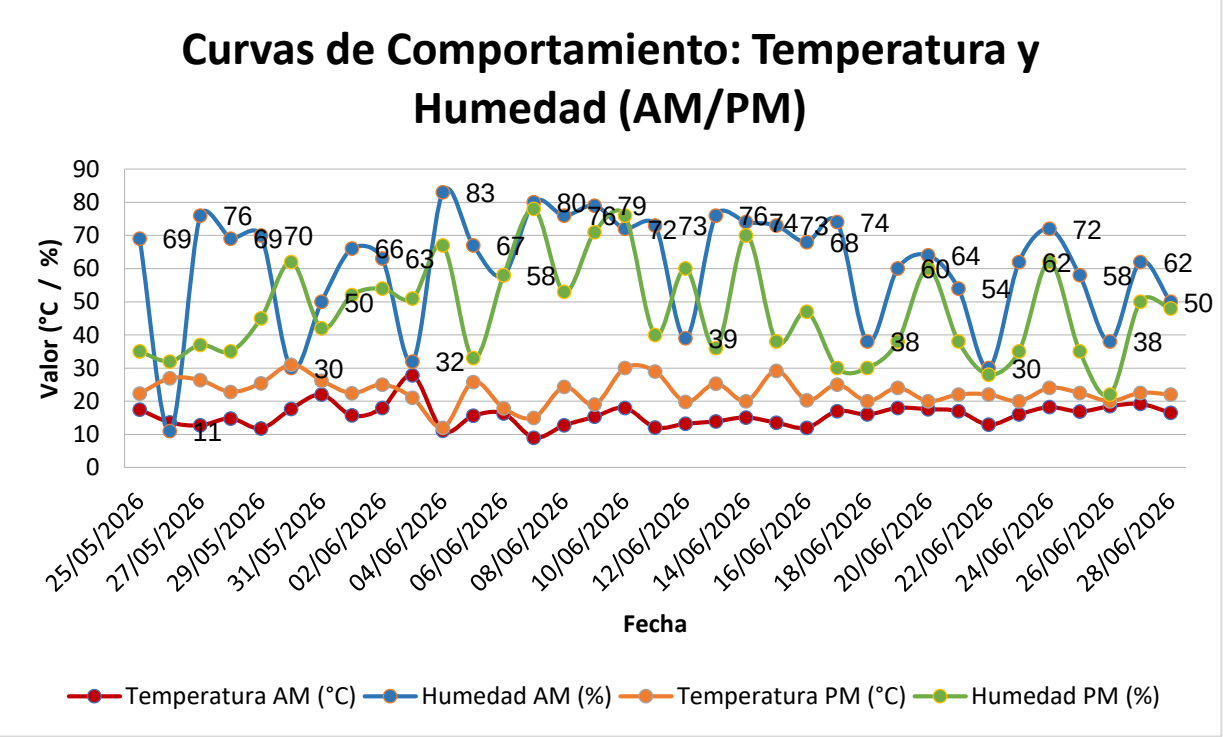


Figura 28: *Curva de comportamiento de temperatura y humedad. Cuadro de datos en el anexo 1*

Las curvas muestran un patrón diurno consistente: la temperatura sube en promedio 7,1 °C entre la lectura de la mañana y la de la tarde, mientras que la humedad relativa cae en promedio 13,4 puntos porcentuales en el mismo lapso (p = 0,0001 en ambos casos), en oscilación inversa entre sí. No se observa una tendencia sostenida de ascenso o descenso a lo largo de los 35 días evaluados, por lo que las variaciones corresponden a la fluctuación ambiental diaria; el pH se mantuvo estable en 7 durante todo el periodo.

12. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Tabla 65: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D3 (dosis alta con 150g de biochard/bandeja) en chocho.*

Costos del lote piloto (6 bandejas)				
Concepto	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario (USD)**	**Valor total (USD)**
Semilla de chocho	kg	0,08	$0,25	$0,02

Biochard (150 g por bandeja × 6 bandejas)	kg	0,90	$1,35	$1,22
Sustrato (proporcional a 6 bandejas)	saco	0,17	$2,00	$0,33
Depreciación de bandejas (6 unidades, vida útil 5 ciclos)	ciclo	6	$ 2,50	$3,00
Agua de riego (proporcional a 6 bandejas)	m3	133,3	$0,13	$0,13
Mano de obra (proporcional a 6 bandejas)	jornal	6,00	$2,00	$0,17
Uso de invernadero (proporcional a 6 bandejas)	fracción de mes	0,08	$30,00	$2,40
Materiales menores (proporcional a 6 bandejas)	fracción de global	0,08	$0,50	$0,04
Total costo del lote piloto (6 bandejas)				**$7,30**
Costo por plántula (lote piloto)				
Plántulas producidas en el lote				300
Costo por plántula (USD)				$0,02
¿Cumple la meta (< USD 0,05 por plántula)?				Sí cumple
Proyección de costos y beneficio para 1 ha				
Plantas requeridas por ha				200.000
Supervivencia estimada				95%
Plántulas a producir (con margen por supervivencia)				210.527
Costo por plántula (del lote piloto)				$0,02
Costo total de producción (1 ha, USD)				$5.123,35
Número de plántulas comerciales				300.000
Precio de venta por plántula (USD)				$0,02
Ingreso bruto (USD)				$6.000,00
Beneficio neto (USD)				$876,65
Relación Beneficio/Costo (B/C)				1,17

El análisis costo-beneficio del chocho dosis alta de biochard, sobre una densidad de siembra de 200 000 plantas/ha, mostró un costo por plántula de USD 0,02 ctv., valor que cumple la meta propuesta de un precio menor a 0,05 ctv. por plántula. Al comercializar 300 000 plántulas (incluyendo el excedente producido en el vivero) a USD 0,02 cada una, el ingreso bruto (USD 6.000,000) superó al costo total de producción (USD 5.123,33), generando un resultado neto positivo de USD 876,67 y

una relación Beneficio/Costo de 1,17. Esto significa que, por cada dólar invertido, se recuperan 1,17 dólares, es decir, el tratamiento resultó económicamente rentable bajo los supuestos considerados.

Tabla 66: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D2, dosis media (100 g de biochard/bandeja) en quinua*

Costos del lote piloto (6 bandejas)				
Concepto	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario (USD)**	**Valor total (USD)**
Semilla de quinua	kg	0,002	$ 0,10	$0,00
Biochard (100 g por bandeja × 6 bandejas)	kg	0,60	$0,90	$0,54
Sustrato (proporcional a 6 bandejas)	saco	0,17	$2,00	$0,33
Depreciación de bandejas (6 unidades, vida útil 5 ciclos)	ciclo	6	$ 2,50	$3,00
Agua de riego (proporcional a 6 bandejas)	m3	133,33	$0,13	$0,13
Mano de obra (proporcional a 6 bandejas)	jornal	6,000	$2,00	$0,17
Uso de invernadero (proporcional a 6 bandejas)	fracción de mes	0,08	$30,00	$2,50
Materiales menores (proporcional a 6 bandejas)	fracción de global	0,083	$0,83	$0,07
Total costo del lote piloto (6 bandejas)				**$6,73**
Costo por plántula (lote piloto)				
Plántulas producidas en el lote				300
Costo por plántula (USD)				$ 0,02
¿Cumple la meta (< USD 0,05 por plántula)?				sí cumple
Proyección de costos y beneficio para 1 ha				
Plantas requeridas por ha				150.000
Supervivencia estimada				95%
Plántulas a producir (con margen por supervivencia)				157.895
Costo por plántula (del lote piloto)				$0,0224
Costo total de producción (1 ha, USD)				$3.544,57
Número de plántulas comerciales				200.000
Precio de venta por plántula (USD)				$0,02
Ingreso bruto (USD)				$4.000,00
Beneficio neto (USD)				$455,43
Relación Beneficio/Costo (B/C)				1,13

En la quinua (tratamiento D2, dosis media), el costo por plántula (USD 0,02 ctv.) continúa siendo el más bajo de las tres especies. Al comercializar 200 000 plántulas a USD 0,02, el ingreso bruto (USD 4.000,00) superó al costo total de producción (USD 3.544,57), con un resultado neto positivo de USD 455,43 y una relación Beneficio/Costo de 1,13. El tratamiento resultó rentable, aunque en menor medida que el chocho.

Tabla 67: *Análisis costo-beneficio del tratamiento D3, dosis alta (150g de biochard/bandeja) en amaranto*

Costos del lote piloto (6 bandejas)				
Concepto	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario (USD)**	**Valor total (USD)**
Semilla de amaranto	g	0,6	$ 0,05	$0,03
Biochard (150 g por bandeja × 6 bandejas)	kg	0,90	$1,35	$1,22
Sustrato (proporcional a 6 bandejas)	saco	0,17	$2,00	$0,33
Depreciación de bandejas (6 unidades, vida útil 10 ciclos)	ciclo	6	$ 2,50	$3,00
Agua de riego (proporcional a 6 bandejas)	m3	133,33	$0,13	$0,13
Mano de obra (proporcional a 6 bandejas)	jornal	6,00	$2,00	$0,17
Uso de invernadero (proporcional a 6 bandejas)	fracción de mes	0,08	$30,00	$2,50
Materiales menores (proporcional a 6 bandejas)	fracción de global	0,083	$0,83	$0,07
Total, costo del lote piloto (6 bandejas)				**$7,44**
Costo por plántula (lote piloto)				
Plántulas producidas en el lote				300
Costo por plántula (USD)				$0,02
¿Cumple la meta (< USD 0,05 por plántula)?				Sí cumple
Proyección de costos y beneficio para 1 ha				
Plantas requeridas por ha				110.000
Supervivencia estimada				95%
Plántulas a producir (con margen por supervivencia)				115.790
Costo por plántula (del lote piloto)				$0,0248
Costo total de producción (1 ha, USD)				$2.871,40
Número de plántulas comerciales				150.000

Precio de venta por plántula (USD)	$0,02
Ingreso bruto (USD)	$3.000,00
Beneficio neto (USD)	$128,60
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1,04

Para el amaranto (tratamiento D3 dosis alta), el costo por plántula (USD 0,02 ctv.) fue el más alto de las tres especies. Al comercializar 150 000 plántulas, el ingreso bruto (USD 3000,00) apenas superó al costo total de producción (USD 2.871,39), con un resultado neto positivo pero reducido de USD 128,61 y la relación Beneficio/Costo más baja de las tres especies (1,04). El resultado resultó muy rentable, con un margen de utilidad estrecho frente a las otras dos especies.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

- Con base en los resultados obtenidos durante la etapa de vivero, se concluye que la aplicación de la dosis recomendada del uso de biochard evaluado favoreció el desarrollo inicial de las plántulas de chocho, quinua y amaranto fue la dosis de 150g de biochard conjuntamente con 1 kg de sustrato
- Los resultados obtenidos evidenciaron que la especie que presentó la mejor adaptación al sustrato enriquecido con biochard fue el chocho *(Lupinus mutabilis sweet*). Esta especie mostró un mayor vigor durante la etapa de vivero, reflejado en un mejor desarrollo radicular, mayor crecimiento vegetativo y una respuesta más uniforme en comparación con la quinua y el amaranto.
- En cuanto al tercer objetivo específico, referido al análisis Costo-Beneficio del mejor tratamiento para cada una de las especies andinas evaluadas, se concluye que el chocho obtuvo su mejor desempeño económico con el tratamiento D3 (dosis alta, 150g de biochard por bandeja) registrando la relación beneficio/costo más alta entre todos los tratamientos aplicados a esta especie, en el caso de la quinua, el mejor

resultado costo-beneficio se obtuvo con el tratamiento de dosis media (100g de biochard por bandeja). Finalmente, para el amaranto el tratamiento más rentable fue el de dosis alta (150g de biochard por bandeja), el cual presentó la mejor relación beneficio/costo para esta especie.

13.2. Recomendaciones

- Implementar la dosis 150g de biochard por kg de sustrato en la fase de vivero para la producción de plántulas de chocho *(Lupinus mutabilis sweet)*, quinua *(Chenopodium quinoa)* y amaranto *(Amaranthus caudatus)*, debido a que esta concentración mostró el mejor comportamiento agronómico general, favoreciendo el desarrollo inicial, el vigor vegetativo y el sistema radicular, especialmente en chocho.
- Ejecutar estudios complementarios en condiciones de transplante a campo definitivo y bajo diferentes proporciones de humedad, pH y manejo hídrico del sustrato, con el fin de validar la estabilidad del efecto del biochard sobre la calidad fisiológica de las plántulas, el prendimiento pos-trasplante y la eficiencia productiva del sistema de piloneras en especies andinas.
- Utilizar el biochard de manera diferenciada según la especie evaluada, priorizando 150g por kg de sustrato en chocho y amaranto, y 100g por kg de sustrato en quinua, considerando que esta última presentó una respuesta significativa en germinación y una mayor rentabilidad económica con la dosis intermedia, de acuerdo con el análisis costo-beneficio obtenido

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AlHarbi, M. (18 de agosto de 2023). *El biocarbón mejora el crecimiento y las características fisiológicas de la alfalfa, el amaranto y el maíz cultivados bajo estrés salino.* Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10441527/

Alqemzi, M. (17 de diciembre de 2025). *El biocarbón derivado de residuos vegetales y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoran el crecimiento del*

tomate bajo condiciones combinadas de deficiencia de nutrientes y estrés salino. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12816619/

Ataupillco, C. (30 de diciembre de 2024). *Suelos enmendados con biocarbón: una estrategia de ahorro de agua para el cultivo de quinua en los Andes.* Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/INIA_0a76cb1db0ac4ac238824a9061e21136/Details

Atkinson. (10 de diciembre de 2010). *Mecanismos potenciales para obtener beneficios agrícolas a partir de la aplicación de biocarbón en suelos templados: una revisión*. Obtenido de https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010PlSoi.337....1A/abstract

Bastos, J. (15 de agosto de 2011). *Revisión cuantitativa de los efectos de la aplicación de biocarbón a los suelos sobre la productividad de los cultivos mediante metaanálisis.* Obtenido de https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/9536/

Bertram, C. (1 de mayo de 2010). *Impacto del biocarbón de madera no alterada en las emisiones de óxido nitroso de un suelo de pastizal enmendado con orina bovina.* Obtenido de https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2009.0185

Beusch, C. (2021). El biocarbón como mejorador del suelo: cómo las propiedades del biocarbón benefician la fertilidad del suelo: una revisión. *Revista de Geociencias y Proteccion Ambiental*, 10-21.

Biederman, L. (31 de diciembre de 2012). *Biocarbón y sus efectos sobre la productividad de las plantas y el ciclo de nutrientes: un metaanálisis*. Obtenido de https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12037

Biederman, L. A. (8 de abril de 2021). *Biocarbón de paja de trigo y arroz: una solución ecológica para la quema de rastrojos en los agroecosistemas de la región de*

Punjab y Haryana, India: una síntesis. Obtenido de https://www.sciepub.com/reference/362887

Bisoyi, C. (17 de abril de 2026). *El biocarbón como enmienda para sustratos de vivero: Avances en la producción de plántulas de calidad de*. Obtenido de https://biochardtoday.com/wp-content/uploads/2026/04/Bisoyi4842026JEAI156477.pdf

Chandra, R. (3 de julio de 2021). *Producción y caracterización de biocarbón producido a partir de la pirólisis lenta de tallos de guandú y bambú.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000616

Chen, L. (10 de septiembre de 2025). *Efectos dependientes de las dosis de enmienda con biocarbón en el crecimiento temprano de plántulas de arroz y propiedades del sustrato de vivero de China*. Obtenido de https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2025.1679276/full

Demirkaya, S. (10 de julio de 2024). *Innovaciones con biocarbón para la agricultura sostenible: Estrategias de acidificación y enriquecimiento con zinc para mejorar la fertilidad de los suelos calcáreos y el rendimiento del trigo.* Obtenido de https://swr.agriculturejournals.cz/artkey/swr-202502-0004_biochard-innovations-for-sustainable-agriculture-acidification-and-zinc-enrichment-strategies-to-improve-calcar.php

Elsevier. (4 de febrero de 2026). Obtenido de La adición conjunta de biocarbón con azufre y compost o vermicompost mejora la salud y la fertilidad de los suelos alcalinos.: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100201602600024X

FAO. (29 de febrero de 2006). *FAO AGRIS - Sistema Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícola*. Obtenido de

https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65dfdb34b766d82b18035bb7

FAO. (17 de abril de 2025). *FAO AGRIS - Sistema Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícola*.

Foereid, B. (27 de enero de 2015). *Biocarbón en el reciclaje de nutrientes: su efecto y su uso en el tratamiento de aguas residuales.* Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1396674

Ghidotti, M. (28 de octubre de 2016). *Michele Ghidotti*. Obtenido de https://pubs.acs.org/ascecg/article-abstract/5/1/510/731652/Profiles-of-Volatile-Organic-Compounds-in-Biochard?redirectedFrom=fulltext

Glaser B., L. (28 de diciembre de 2002). *Artículo de revisión: Fundamentos del biocarbón como herramienta de enmienda del suelo y su manejo en la agricultura. Alcance: Una visión general para agricultores y jardineros.* Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1943271

Gyanwali, P. (10 de enero de 2024). *Explorando los beneficios del biocarbón: una revisión de los métodos de producción, características y aplicaciones en la salud del suelo y el medio ambiente.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/380431723_Exploring_the_Benefits_of_Biochard_A_Review_of_Production_Methods_Characteristics_and_Applications_in_Soil_Health_and_Environment

Haijun Sun, Nigel Gale, George Lazarovits. (8 de enero de 2024). *Producción y características del biocarbón, sus impactos en la salud del suelo, la producción de cultivos y la mejora del rendimiento: una revisión.* Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10821463/

Holcim. (2 de julio de 2025). Obtenido de https://www.holcim.com/who-we-are/our-stories/the-power-of-biochard?gad_source=1&gad_campaignid=23667754280&gbraid=0AAAABVG1RQ74Gs8l16Cxw7eHBPTjWY0L&gclid=CjwKCAjw7KvTBhA6EiwAWnutYZoM2V8-mtd31TC4mY-OZpZRk5wwSEtXEZS7OeL61h7vPwHhZucm4BoCBp0QAvD_BwE

Hui, D. (12 de marzo de 2021). *Efectos de la aplicación de biocarbón en las propiedades del suelo, la producción de biomasa vegetal y las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo: una breve revisión.* Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2939909

Jabborova, D. (18 de agosto de 2023). *El biocarbón mejora el crecimiento y las características fisiológicas de la alfalfa, el amaranto y el maíz cultivados bajo estrés salino.* Obtenido de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37609438/

Jabborova, D. (18 de agosto de 2023). *El biocarbón mejora el crecimiento y las características fisiológicas de la alfalfa, el amaranto y el maíz cultivados bajo estrés salino. Distribuido bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/373216693_Biochard_improves_the_growth_and_physiological_traits_of_alfalfa_amaranth_and_maize_grown_under_salt_stress_Distributed_under_Creative_Commons_CC-BY_40

Jien, S. H. (18 de noviembre de 2013). *Efectos del biocarbón sobre las propiedades del suelo y el potencial de erosión en un suelo altamente meteorizado*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816213001604

Kimetu, J. (17 de abril de 2014). *Efecto del ácido húmico, la inoculación con micorrizas y el biocarbón en el rendimiento y la eficiencia del uso del agua del lino en suelos*

arenosos recién recuperados. Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1360709

Kimetu, J. M. (28 de septiembre de 2010). *Estabilidad y estabilización del biocarbón y el abono verde en suelos con diferentes contenidos de carbono orgánico.* Obtenido de https://connectsci.au/sr/article-abstract/48/7/577/46333/Stability-and-stabilisation-of-biochard-and-green?redirectedFrom=fulltext

Lehmann, J. (24 de abril de 2001). *Mejorar las propiedades físicas y químicasde suelos altamente erosionados en los trópicos con carbón vegetal*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/200736437_Ameliorating_Physical_and_Chemical_Properties_of_Highly_Weathered_Soils_in_the_Tropics_with_Charcoal_-_a_Review

Lehmann, J. (16 de mayo de 2006). *Secuestro de biocarbón en ecosistemas terrestres: una revisión.* Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-005-9006-5

Lehmann, J. (2011). Efectos del biocarbón en la biota del suelo: una revisión. *Biología y bioquímica del suelo*, 1812-1836.

Lema, Z. (5 de agosto de 2023). *Producción de biochard a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, para la recuperación de agua contaminada con metales pesados a nivel de laboratorio.* Obtenido de https://repositorio.utc.edu.ec/items/862c84a3-8e9a-40a5-bd05-4126d628f19d

LIANG Feng, L. G. (9 de octubre de 2013). *Rendimiento de los cultivos y propiedades del suelo en los primeros 3 años después de la aplicación de biocarbón a un suelo calcáreo.* Obtenido de https://www.chinaagrisci.com/Jwk_zgnykxen/EN/abstract/abstract9345.shtml

Libutti, Á. (16 de julio de 2024). *Estrés por sequía en la quinua: efectos, mecanismos de respuesta y manejo mediante suelo enmendado con biocarbón: una revisión.* Obtenido de https://www.mdpi.com/2077-0472/14/8/1418

Lopes, S. (2010). Revisión del biocarbón, su uso y función en el suelo. *Avances en agronomía*, 47-82.

Lopez, S. (15 de enero de 2010). Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3757213

Lopez, S. (13 de agosto de 2021). *Recuperación de biomasa incinerada como precipitados de estruvita-K tras la eliminación de aluminio.* Obtenido de https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx-455qlt3d2q))/reference/referencespapers?referenceid=3051689

Miglieta, F. (1 de enero de 2011). *El biocarbón como estrategia para secuestrar carbono y aumentar el rendimiento en el trigo duro.* Obtenido de https://openpub.fmach.it/handle/10449/20081

Mishra, A. (18 de septieembre de 2017). *Efectos de la cáscara de arroz y el carbón vegetal de cáscara de arroz en las propiedades fisicoquímicas del suelo, el crecimiento y el rendimiento del arroz.* Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2117711

Muhammad, A. (1 de enero de 2024). *Impacto de la dosis de biocarbón leñoso y la escasez de agua en las primeras etapas de crecimiento de Chenopodium quinoa Willd.* Obtenido de https://iris.unibas.it/handle/11563/176076

Mukherjee, A. (18 de abril de 2013). *Impacto del biocarbón en las propiedades físicas del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero.*

Mukherjee, A. (18 de abril de 2013). *Impacto del biocarbón en las propiedades físicas del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero.* Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4395/3/2/313

Niu, R. (23 de octubre de 2025). *Efectos de la aplicación continua de biocarbón sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento y la calidad del tomate en un cobertizo abovedado.* Obtenido de https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1666930/full

Novak, J. M. (5 de diciembre de 2019). *Impacto de la enmienda con biocarbón en la fertilidad de un suelo de la llanura costera del sureste.* Obtenido de https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65de70634c5aef494fdc153c

Pariyar, P. (15 de abril de 2020). *Ciencia del medio ambiente total*. Obtenido de Evaluación del cambio en las propiedades del biocarbón derivado de diferentes materias primas y temperaturas de pirólisis para aplicaciones ambientales y agrícolas.: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719364290

Riaz, M. (18 de mayo de 2025). *El biocarbón mejora la germinación de las semillas y el crecimiento temprano de los cultivos para una agricultura sostenible en Bangladesh.* Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11918420/

Rivelli, A. (30 de octubre de 2023). *Impacto de la dosis de biocarbón leñoso y la escasez de agua en las primeras etapas de crecimiento de Chenopodium quinoa Willd.* Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4395/14/1/53

Rivera, J. (2 de junio de 2022). *Efecto de las enmiendas de biocarbón en el crecimiento y desarrollo de la lechuga crujiente 'Vera' en cuatro suelos contaminados con*

cadmio. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-58392022000200244&script=sci_arttext&tlng=en

Rosa, D. (30 de abril de 2024). *Biocarbón funcionalizado a partir de residuos como fuente de nutrientes de liberación lenta: Aplicación en plantas de tomate.* Obtenido de https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)05486-0

Salgado, M. A. (5 de diciembre de 2022). *Conversión de residuos agrícolas de quinua y lupino en biocarbón en los Andes: un estudio experimental en un reactor de tipo sinfín a escala piloto.* Obtenido de https://puceinvestiga.puce.edu.ec/es/publications/conversion-of-quinoa-and-lupin-agro-residues-into-biochard-in-the-/

Schulz, H. (23 de agosto de 2012). *Impactos de diferentes fuentes de biocarbón en las características de crecimiento de las plantas*. Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2345402

Schulz, H. (22 de marzo de 2012). *Efectos del biocarbón en comparación con fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas en un experimento de invernadero.* Obtenido de https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.201100143

Shiu, K. C. (22 de octubre de 2024). *El recubrimiento de semillas a base de biocarbón como estrategia eficaz para reducir la depredación de semillas al restaurar bosques en tierras degradadas.* Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3841412

Souza, c. d. (2023). Biocarbón como acondicionador de sustrato para la producción de plántulas de especies forestales nativas. *Ciencias Agrarias y Biologicas*, 9.

Steiner, C. (18 de febrero de 2022). *Efectos de la producción de carbón vegetal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de gobierno local de Moro, estado*

de Kwara, Nigeria. Obtenido de https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3175723

Sun, C. (24 de octubre de 2025). *Efectos de la aplicación continua de biocarbón sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento y la calidad del tomate en un cobertizo abovedado.* Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12593522/

Tetteh, D. A. (11 de febrero de 2015). *Efecto de las dosis de aplicación de biocarbón en las propiedades del suelo y el crecimiento de Amaranthus caudatus*. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s44279-025-00172-0

Verheijen, J. (4 de noviembre de 2011). *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*. Obtenido de Revisión cuantitativa de los efectos de la aplicación de biocarbón a los suelos sobre la productividad de los cultivos mediante metaanálisis.: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911003197

Verheijen, J. (29 de noviembre de 2024). *Revisión cuantitativa de los efectos de la aplicación de biocarbón a los suelos sobre la productividad de los cultivos mediante metaanálisis.* Obtenido de https://agris.fao.org/search/en/providers/125174/records/67497d847625988a37227993

Vijai, V. (29 de agosto de 2021). *Revisión de ensayos de campo a gran escala con biocarbón para la enmienda del suelo y sus influencias observadas en las variaciones del rendimiento de los cultivos.* Obtenido de https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.710766/full

Woolf, D. (10 de agosto de 2010). *Biocarbón sostenible para mitigar el cambio climático global.* Obtenido de https://www.nature.com/articles/ncomms1053

Zhan, A., & Bian. (26 de junio de 2012). Obtenido de Fertilidad del suelo y productividad del arroz de secano en el Cerrado tras la aplicación de biocarbón.: https://www.scielo.br/j/pab/a/FBBNgJX3PntYdy96H7BVYhp/?format=html&lang=en

ZHANG, A., & BIAN. (26 de junio de 2012). Obtenido de Fertilidad del suelo y productividad del arroz de secano en el Cerrado tras la aplicación de biocarbón.: https://www.scielo.br/j/pab/a/FBBNgJX3PntYdy96H7BVYhp/?format=html&lang=en