

POTENCIACIÓN DEL CONTROL BIOLÓGICO DE FUSARIUM SPP, EN LECHUGA ICEBERG (*LACTUCA SATIVA*), MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AMINOÁCIDOS Y *TRICHODERMA SPP.* CON UN ENFOQUE SOSTENIBLE

ENHANCEMENT OF BIOLOGICAL CONTROL OF FUSARIUM SPP, IN ICEBERG LETTUCE (*LACTUCA SATIVA*), BY THE APPLICATION OF AMINO ACIDS AND TRICHODERMA SPP. WITH A SUSTAINABLE APPROACH

Rubén Alexander Mesías Solórzano¹, Santiago Fabián Cáceres Bonilla²

{rmesias@mail.es.ueb.edu.ec¹, scaceres@ueb.edu.ec²}

Fecha de recepción: 15/06/2025 / Fecha de aceptación: 01/06/2025 / Fecha de publicación: 01/07/2025

RESUMEN: La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las principales hortalizas de hoja verde consumidas en todo el mundo, las enfermedades amenazan la seguridad alimentaria al reducir el rendimiento de los cultivos entre ello está la afectación por bacterias y hongos, en este estudio se evaluó el efecto de la aplicación de aminoácidos y *Trichoderma spp.* sobre el control biológico de *Fusarium spp.* y el crecimiento de lechuga, con un enfoque sostenible. Se analizaron variables agronómicas como altura de planta, ancho de hoja, diámetro de tallo, número de hojas, severidad de la enfermedad, tasa de mortalidad y rendimiento final, durante las semanas 2 a 5 después de la siembra. La presente investigación fue de carácter descriptiva, además se realizó un análisis estadístico con una prueba de Fisher al 1% y prueba de Tukey al 5% con 3 repeticiones. Tratamientos combinó aminoácidos y *Trichoderma spp.* (T4) fue el más efectivo, mostrando incrementos significativos en el desarrollo vegetal: altura de planta alcanzó 13.91 cm, ancho de hoja 15.29 cm, diámetro de tallo 1.75 mm y número de hojas 13 en la semana 4, superando ampliamente a los demás tratamientos. Además, T4 redujo notablemente la severidad de la enfermedad, con solo un 6% en la semana 5, y disminuyó la tasa de mortalidad a 59 plantas, evidenciando un control eficiente de *Fusarium spp.* En términos productivos, este tratamiento alcanzó el mayor rendimiento final con el 82%, siendo significativamente superior al control y a los tratamientos individuales. Estos hallazgos

¹Universidad Estatal de Bolívar. Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador. rmesias@mail.es.ueb.edu.ec <https://orcid.org/0009-0009-5124-7875>.

²Universidad Estatal de Bolívar. Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador. scaceres@ueb.edu.ec <https://orcid.org/0009-0003-2014-3308>.

demuestran que la integración de aminoácidos y *Trichoderma* spp. no solo mejora el crecimiento y la salud de la lechuga, sino que también contribuye a una producción más sostenible y eficiente, disminuyendo la dependencia de fungicidas químicos y promoviendo prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente.

Palabras clave: *Aminoácidos, bioinsumos, control biológico, fusarium spp., lechuga, trichoderma spp*

ABSTRACT: Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the main green leafy vegetables consumed worldwide, diseases threaten food security by reducing crop yields among them is the affectation by bacteria and fungi, in this study the effect of the application of amino acids and *Trichoderma* spp. on the biological control of *Fusarium* spp. and the growth of was evaluated, with a sustainable approach. Agronomic variables such as plant height, leaf width, stem diameter, number of leaves, disease severity, mortality rate and final yield were analyzed during weeks 2 to 5 after planting. The present investigation was descriptive in nature, and a statistical analysis was carried out with a Fisher's test at 1% and Tukey's test at 5% with 3 replications. Treatments combined amino acids and *Trichoderma* spp. (T4) was the most effective, showing significant increases in plant development: plant height reached 13.91 cm, leaf width 15.29 cm, stem diameter 1.75 mm and number of leaves 13 in week 4, far exceeding the other treatments. In addition, T4 significantly reduced disease severity, with only 6% at week 5, and decreased the mortality rate to 59 plants, evidencing an efficient control of *Fusarium* spp. In terms of yield, this treatment achieved the highest final yield with 82%, being significantly superior to the control and individual treatments. These findings demonstrate that the integration of amino acids and *Trichoderma* spp. not only improves the growth and health of lettuce, but also contributes to a more sustainable and efficient production, decreasing the dependence on chemical fungicides and promoting environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: *Aminoácidos, bioinputs, biological control, fusarium spp, lettuce, trichoderma spp*

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades de las plantas amenazan la seguridad alimentaria al reducir el rendimiento de los cultivos entre ello está la afectación por bacterias y hongos (1). La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las principales hortalizas de hoja verde consumidas en todo el mundo. Se consume principalmente cruda en ensaladas y en comida rápida, ya que es una buena fuente de vitaminas, minerales (2). Esto se debe principalmente al hecho de que la lechuga se consume fresca, lo que significa que retiene la mayoría de sus nutrientes en comparación con otras verduras que se cocinan o procesan antes del consumo (3). Este rubro es un cultivo de crecimiento relativamente rápido, con ciclo de crecimiento corto, con alta densidad de siembra, baja demanda de energía (4). En Ecuador la mayor producción se encuentra en la provincia de Pichincha donde se obtuvieron 15.575 t en 924 ha, seguido de Chimborazo con una producción de 1.905 t (5).

Entre una de las enfermedades de mayor relevancia en la lechuga es la fusariosis vascular causada por el hongo *Fusarium oxysporum f. sp. Lactucae* (FOLac) representa una amenaza significativa para la producción mundial de lechuga (6). *Fusarium oxysporum* es un hongo del suelo cuyas especies incluyen una amplia diversidad de cepas responsables de marchiteces o podredumbres en muchas especies de plantas como diferentes variedades de lechugas (7).

El *Trichoderma spp.*, se emplea estratégicamente para regular las enfermedades transmitidas por el suelo, fomentando una relación simbiótica crucial para el equilibrio ecológico y el control de enfermedades, esta es una técnica respetuosa con el medio ambiente, ecológicamente racional y económicamente viable para reducir el peligro y la toxicidad ambiental (8) *Trichoderma spp.* Es un género fúngico que afecta a especies con diversos estilos de vida, muchas de las cuales son excelentes agentes de biocontrol y colonizadores de la rizosfera con efectos beneficiosos para las plantas, además estos hongos emplean diversos mecanismos de biocontrol directo para suprimir los patógenos, incluyendo mico parasitismo, antibiosis y competencia de nicho (9).

Los bioestimulantes que contienen aminoácidos y minerales se han utilizado comercialmente para promover el crecimiento de las plantas, el rendimiento y el valor nutritivo de los cultivos alimentarios. Los son diferentes a los fertilizantes, ya que en el caso del producto probado (10), Los aminoácidos son beneficiosos para la defensa contra el estrés, la fotosíntesis, una mayor absorción de nutrientes, como precursores de hormonas y para los parámetros de crecimiento (11), Informes previos indican que los aminoácidos exógenos aumentan el crecimiento y el rendimiento de diferentes especies hortícolas, como la lechuga (12).

El uso intensivo del suelo, específicamente el destinado a la producción de hortalizas y a las malas técnicas de manejo del suelo, provoca una reducción de la materia orgánica y los nutrientes y se ha identificado como una de las amenazas más importantes para su calidad y peligro de plagas (13). La agricultura orgánica se centra en el equilibrio ecológico de la agricultura, minimiza los insumos fuera de la finca y promueve un sistema ecológico sostenible al restaurar, mantener y mejorar la biodiversidad del entorno de producción (14). Los abonos o enmiendas orgánicas son el resultado de procesos de descomposición y mineralización de residuos vegetales, animales e industriales, que aplicados al suelo, pueden ayudar a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (15).

El Objetivo de esta investigación es potenciar el control biológico de *Fusarium spp*, en lechuga iceberg (*Lactuca sativa*), mediante la aplicación de aminoácidos y *Trichoderma spp*. Con un enfoque sostenible. La integración de aminoácidos y *Trichoderma spp*. Ayuda a mejorar el control biológico de *Fusarium spp.*, contribuyendo a una producción más sostenible y eficiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación de carácter bibliográfica, experimental con diseño factorial, que permitió evaluar el efecto individual y combinado de dos factores (en este caso, dosis de

Trichoderma spp. y Aminoácidos) sobre una variable dependiente, utilizando análisis de varianza e identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) de 4x4 con un total de 16 unidades experimentales, en la localidad de Pifo-Quito a 2623msnm, con una temperatura máxima de 21°C y mínima de 10°C, en un lote de 1000m² de suelo franco, teniendo cada parcela un área experimental de 10mx6m, es decir 60 m², con una distancia de siembra de 25 cm × 25 cm, y separación de entre camas de 20cm y ancho de 1m por cama, sembrando de 4 hileras, dando un total de 800plantas por cada unidad experimental, se aplicó Trichoderma spp. en dosis de 4g/ha y Aminoácidos: 24ml/ha, el detalle de los cuatro tratamientos fue: T1: Testigo, T2: Aminoácidos, T3: Trichoderma spp., T4: Trichoderma spp. + Aminoácidos. En el análisis estadístico se realizó prueba de Fisher al 1% y prueba de Tukey al 5%.

Métodos a evaluar

Altura de planta: La altura de la planta se midió desde la superficie del suelo hasta el punto más alto de la hoja, a la 2-3-4 semana, se utilizó una regla paralela al tallo para evitar errores por inclinación. Se seleccionaron 10 plantas al azar por cada tratamiento de estudio, midiendo cada una con precisión. Las mediciones se realizaron temprano en la mañana, para evitar variaciones por estrés hídrico, como recomienda (16), Finalmente, se calculó el promedio de las 10 plantas evaluadas para los análisis estadísticos, garantizando una evaluación precisa y reproducible del crecimiento vegetal.

Ancho de hoja: El ancho de hoja se calculó como la distancia máxima perpendicular a la nervadura central entre los bordes opuestos de una hoja completamente desarrollada. Se evaluó a la 2-3-4 semana de siembra, seleccionando la hoja más ancha y sana de cada planta evaluada, midiendo con una regla. La medición se realizó sobre una superficie plana para mayor exactitud. Se evaluaron 10 plantas al azar por cada parcela. Las mediciones se realizaron en condiciones ambientales estables para evitar variaciones por humedad o desecación. Este método asegura una evaluación precisa del vigor foliar en el cultivo de lechuga.

Diámetro de tallo: Esta variable se registró a la 2-3-4 semana de siembra perpendicularmente al eje del tallo principal, con la ayuda de un calibrador de Vernier. Se seleccionaron 10 plantas al azar por parcela y se midió suavemente para no comprimir el tejido. Este método permite evaluar con precisión el desarrollo y vigor del tallo en lechuga bajo diferentes tratamientos (17).

Numero de hojas: El número de hojas se contó de manera manual en 10 plantas seleccionadas al azar por cada parcela, considerando solo hojas completamente desarrolladas y saludables, excluyendo hojas jóvenes o dañadas. El conteo se realizó en un estadio fenológico definido para estandarizar la evaluación (2-3-4 semana después de la siembra). Se registran los datos individuales y se calcula el promedio por parcela para análisis estadísticos. Esta medición es clave para evaluar el vigor vegetativo y la salud de la lechuga bajo diferentes tratamientos.

Severidad de la enfermedad: La severidad de la enfermedad se evaluó visualmente en 10 plantas seleccionadas al azar por parcela, se asignó un valor según la intensidad y extensión de

los síntomas visibles como manchas, necrosis o marchitez. La evaluación se realizó en los estadios del cultivo donde los síntomas fueron más visibles (3-4-5 semanas). Finalmente, se calculó el promedio de severidad por parcela para análisis estadísticos, permitiendo medir la efectividad de los tratamientos y su impacto en la salud de la lechuga.

Tasa de mortalidad de plantas: La tasa de mortalidad de plantas se calculó como el porcentaje de plantas muertas respecto al total inicial en cada parcela. Se realizó el conteo en la semana (3-4-5) después de la siembra. Se realizó la evaluación en horas de sol, que es cuando se ve la afectación de la enfermedad. Este indicador es fundamental para evaluar la efectividad de tratamientos y el impacto de factores adversos en el cultivo. Estudios reportan mortalidades variables, por ejemplo, entre 14% y 37% según variedad y condiciones, destacando la importancia de un manejo adecuado para reducir pérdidas (18).

Rendimiento: El rendimiento final se obtuvo de cada parcela de estudio, registrando el peso fresco inmediato con una balanza precisa. Luego, se extrapolo el peso promedio por planta al área de cultivo considerando la densidad de siembra. Este indicador es fundamental para evaluar la productividad del cultivo.

RESULTADOS

Altura de planta

Tabla 1. Resultados de altura de planta y ancho de hoja.

T	Altura de planta**			Ancho de hoja**		
	AP2	AP3	AP4	AH2	AH3	AH4
T1	4,51 ^D	5,55 ^D	8,89 ^C	1,5 ^C	4,47 ^C	9,177 ^C
T2	6,41 ^C	7,21 ^C	10,16 ^B	2,58 ^B	5,58 ^B	10,62 ^B
T3	6,95 ^B	7,62 ^B	10 ^B	2,58 ^B	5,84 ^B	10,84 ^B
T4	8,04 ^A	9,46 ^A	13,91 ^A	4,32 ^A	7,74 ^A	15,29 ^A

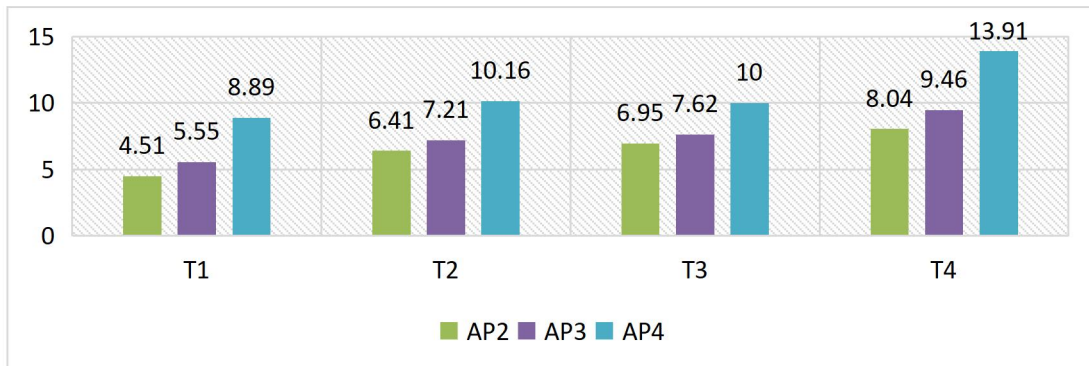


Figura 1. Promedios de altura de planta.

La altura de las plantas aumenta progresivamente desde la semana 2 hasta la 4 en todos los tratamientos, el tratamiento T4 muestra consistentemente la mayor altura en las tres

mediciones temporales, seguido por T3, T2 y finalmente T1, T4 (aminoácidos + *Trichoderma spp.*) presenta un crecimiento significativamente superior (R=A) en todas las semanas, alcanzando 13.91cm en la semana 4, lo que indica una mejora notable en el desarrollo de la planta, T3 (*Trichoderma spp.*) y T2 (Aminoácidos) muestran un crecimiento intermedio, con diferencias estadísticamente significativas entre ellos y respecto a T1 y T4. Esto sugiere que estos tratamientos también favorecen el crecimiento, pero en menor medida, mientras que T1 (testigo) presenta la menor altura y clasificación estadística (R=D en semanas 2 y 3, y C en semana 4), reflejando el menor desarrollo vegetal.

Además, se observaron correlaciones significativas entre el aumento en el número y ancho de hojas con la disminución en la severidad de la enfermedad, lo que sugiere que un desarrollo foliar más robusto contribuye a una mejor defensa contra el patógeno. De igual forma, el incremento en el diámetro del tallo se relacionó negativamente con la mortalidad de plantas, indicando que plantas con mayor vigor estructural presentan mayor tolerancia al estrés biótico inducido por *Fusarium spp.*

Ancho de hoja

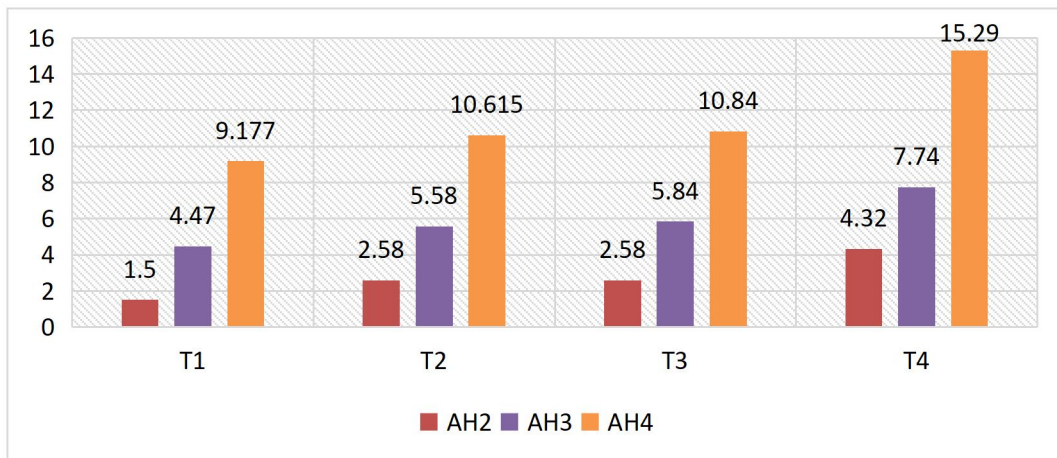


Figura 2. Promedios de los diferentes tratamientos de ancho de la hoja.

El T4 (aminoácidos y *Trichoderma spp.*) muestra el mayor ancho de hoja en todas las semanas de evaluación, con diferencias estadísticamente significativas respecto a los demás tratamientos (R=A). En la semana 4, alcanza 15.29 cm, superando ampliamente a los otros tratamientos, T2 y T3 presentan valores intermedios y similares entre sí (R=B), indicando que ambos tratamientos tienen un efecto positivo sobre el vigor foliar, aunque menos pronunciado que T4, T1 (testigo) muestra los menores valores de ancho de hoja en todas las semanas (R=C), lo que evidencia un menor desarrollo foliar, debido a la afectación del hongo patógeno.

Un mayor ancho de hoja es un indicador de mayor vigor y potencial fotosintético, lo que puede traducirse en mayor rendimiento y calidad comercial de la lechuga. El tratamiento T4, al promover significativamente el desarrollo foliar, confirma su eficacia como estrategia sostenible para potenciar el crecimiento y la sanidad del cultivo. El aminoácido + el *Trichoderma spp.* no

solo es esencial en el metabolismo celular, sino también es el precursor del ácido indolacético en las principales vías metabólicas de síntesis. Esta auxina natural estimula el crecimiento de los tejidos ya que induce procesos como la división y el alargamiento celular. (19).

Diámetro de tallo

Tabla 2. Promedios y rangos de las variables diámetro de tallo y número de hojas.

T	Diámetro de tallo**			Numero de hojas**		
	DT2	DT3	DT4	NH2	NH3	NH4
T1	0,37 ^C	0,64 ^B	0,75 ^B	5 ^B	7 ^B	8 ^B
T2	0,6 ^B	0,79 ^B	1 ^B	6 ^B	7 ^B	9 ^B
T3	0,65 ^B	0,76 ^B	0,91 ^B	6 ^B	8 ^B	10 ^B
T4	0,79 ^A	1,24 ^A	1,75 ^A	7 ^A	11 ^A	13 ^A

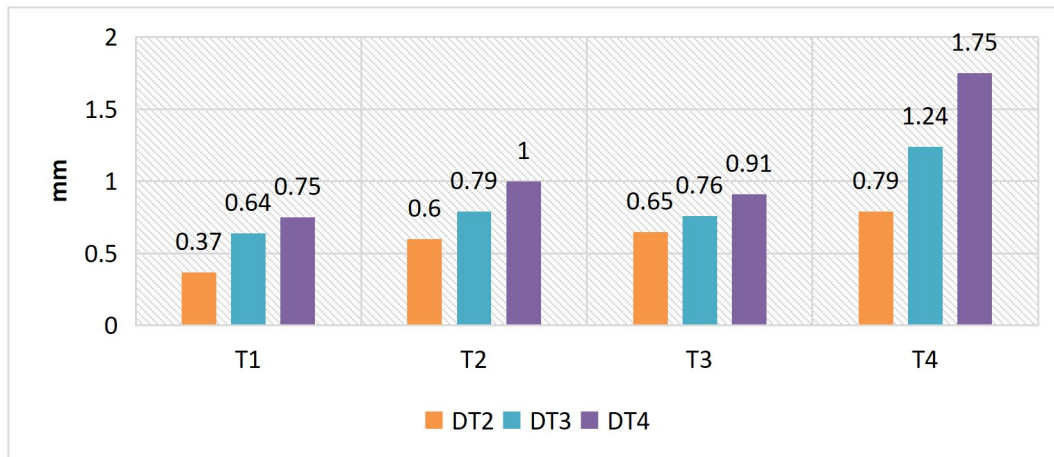


Figura 3. Valores promedios de la variable diámetro de tallo.

El diámetro del tallo aumenta progresivamente en todos los tratamientos a lo largo de las semanas, reflejando el T4 (aminoácidos y Trichoderma spp.) el mayor diámetro de tallo en todas las semanas, con incrementos especialmente notables en la semana 4 (1.75 mm), resaltándose ampliamente a los demás tratamientos con diferencias estadísticamente significativas (R=A), los tratamientos T2 y T3 muestran diámetros intermedios, sin diferencias estadísticas entre ellos (R=B), pero claramente superiores al control T1, pero siempre por debajo de T4. Esto sugiere que ambos tratamientos tienen un efecto positivo sobre el vigor del tallo, aunque menos pronunciado, T1 (testigo) tiene los diámetros más bajos en todas las semanas, tiene el menor diámetro en todas las mediciones (R=C en semana 2 y B en semanas 3 y 4), indicando menor vigor.

Un mayor diámetro de tallo es fundamental para la resistencia mecánica, el soporte de la biomasa aérea y la eficiencia en el transporte de agua y nutrientes. El tratamiento T4, al incrementar significativamente esta variable, se posiciona como la estrategia más eficaz para

potenciar una mayor robustez y potencial de rendimiento de las plantas, además de una posible mayor tolerancia a factores de estrés biótico (*Fusarium spp.*) y abiótico.

Estudios previos han demostrado que la aplicación de bioproductos como *Trichoderma spp.* y bioestimulantes incrementa significativamente el diámetro del tallo en lechuga y otros cultivos, asociándose con un mayor vigor y potencial productivo (19).

Número de hojas

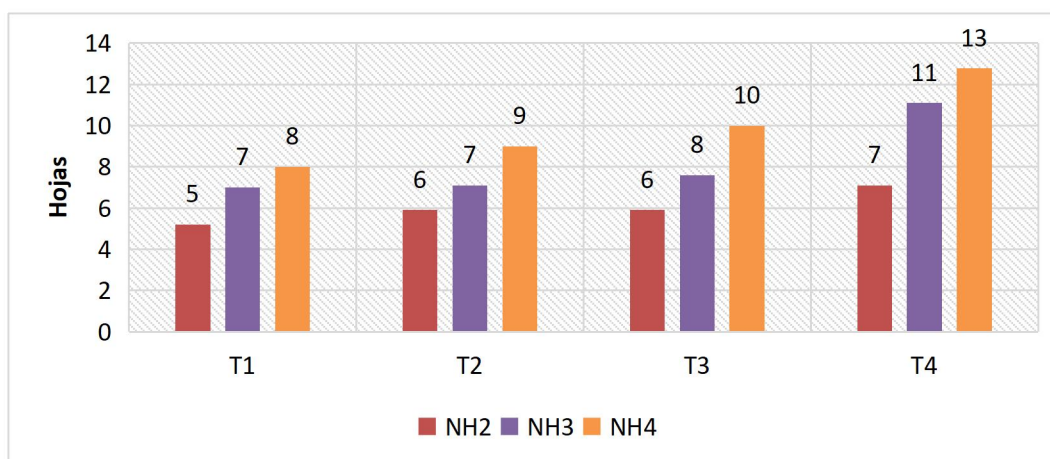


Figura 4. Promedios de los diferentes tratamientos de la variable número de hojas.

T1 (testigo) tiene consistentemente el menor número de hojas en todas las semanas, mostrando un menor vigor vegetativo, T3 (*Trichoderma spp.*) y T2 (aminoácidos) presentan valores intermedios, con T3 ligeramente superior a T2 en las semanas 3 y 4, Los tratamientos T1, T2 y T3 muestran valores inferiores y estadísticamente similares entre sí (R=B), con un número máximo de 10 hojas en la semana 4 para T3. T4 (aminoácidos y *Trichoderma spp.*) presenta un número significativamente mayor de hojas en todas las semanas evaluadas, con clasificación estadística A, alcanzando hasta 13 hojas en la semana 4.

Un mayor número de hojas es indicativo de mayor vigor vegetativo, mejor capacidad fotosintética y potencial para un mayor rendimiento. El tratamiento T4, al incrementar significativamente el número de hojas, sugiere una mejora sustancial en la salud y productividad del cultivo, debido al efecto sinérgico de los aminoácidos y *Trichoderma spp.*

La mejora en el número de hojas bajo T4 puede estar asociada a un mejor control de *Fusarium spp.* y a un ambiente radicular más saludable, favorecido por los bioinsumos aplicados, lo que contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

Severidad de la enfermedad

Tabla 3. Promedios y rangos de las variables severidad de la enfermedad, tasa de mortalidad de plantas y rendimiento.

POTENCIACIÓN DEL CONTROL BIOLÓGICO DE FUSARIUM SPP, EN LECHUGA ICEBERG (*LACTUCA SATIVA*), MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AMINOÁCIDOS Y TRICHODERMA SPP. CON UN ENFOQUE SOSTENIBLE.

T	Severidad de la enfermedad**			Tasa de mortalidad de plantas**			Rendimiento**
	SE3	SE4	SE5	TMP3	TPM4	TMP5	RT
T1	16 ^A	46 ^A	59 ^A	124 ^A	363 ^A	464 ^A	49 ^C
T2	7 ^B	13 ^B	15 ^B	69 ^B	107 ^B	126 ^B	73 ^B
T3	9 ^C	12 ^C	18 ^C	77 ^C	99 ^C	139 ^C	73 ^B
T4	2 ^D	5 ^D	6 ^D	16 ^D	45 ^D	59 ^D	82 ^A

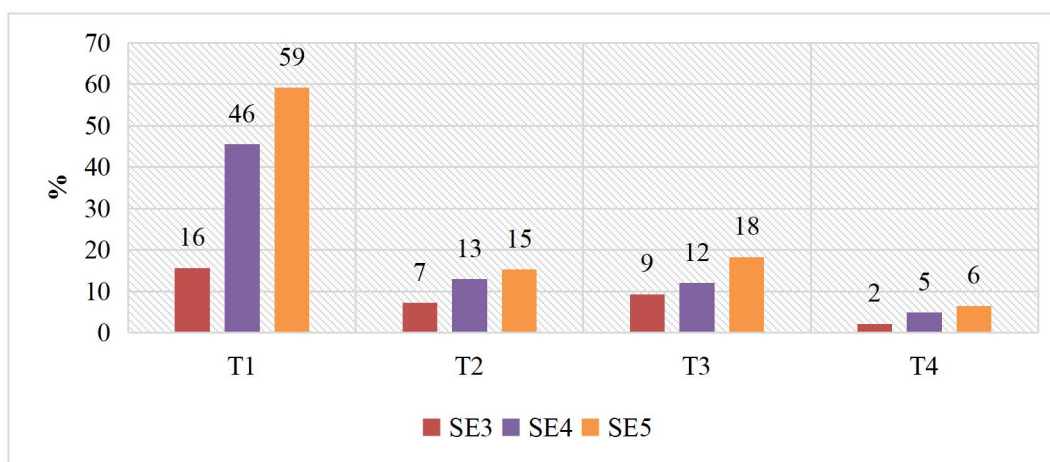


Figura 5. Promedios de la variable severidad de la enfermedad.

La severidad de la enfermedad aumenta con el tiempo en todos los tratamientos, lo que es esperado dado el desarrollo progresivo de los síntomas del hongo en el cultivo.

T1 (testigo) muestra la mayor severidad de enfermedad en todas las semanas, con valores que alcanzan hasta 59% en la semana 5 donde el hongo llega a su punto máximo de afectación al cultivo.

Los tratamientos T2 (Aminoácidos) y T3 (*Trichoderma spp*) muestran una reducción significativa en la severidad comparados con el control, aunque con diferencias estadísticas entre ellos (R=B para T2 y R=C para T3), sugiriendo que ambos tienen efecto protector, pero T2 es ligeramente más efectivo, dado que una planta con buen sistema radicular, resiste más a la afectación de enfermedades.

El tratamiento T4 presenta la severidad más baja en todas las evaluaciones, con valores mínimos (2% en S3 y 6% en S5), y clasificación estadística D, lo que indica un control sobresaliente de la enfermedad, manteniendo los niveles de daño foliar en mínimos durante las etapas críticas del cultivo, lo que sugiere que la aplicación conjunta de aminoácidos y *Trichoderma spp.* potencia el control biológico de *Fusarium spp.*, minimizando el daño foliar y mejorando la salud general del cultivo. Esto se traduce en plantas más sanas, con mayor vigor y potencial productivo.

El uso de bioinsumos que disminuyen la severidad de enfermedades reduce la dependencia de fungicidas químicos, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y amigables con el medio ambiente (20).

Tasa de mortalidad de plantas

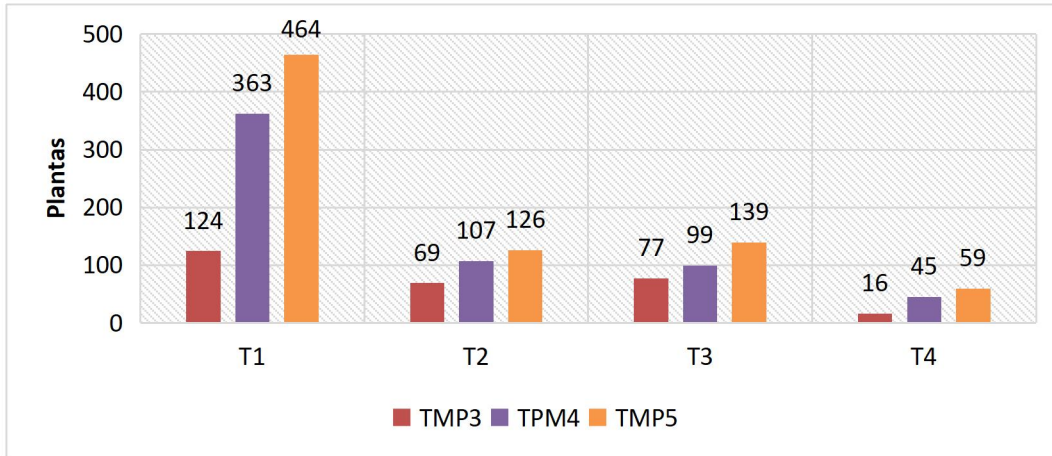


Figura 6. Promedios de la variable tasa de mortalidad de plantas.

La tasa de mortalidad de plantas aumenta con el tiempo en todos los tratamientos, lo que refleja el impacto acumulativo de factores adversos y el aumento de la enfermedad en el cultivo.

El tratamiento T1 (testigo) presenta la tasa de mortalidad más alta en todas las semanas, alcanzando hasta 464 plantas muertas en la semana 5, lo que indica un impacto severo y falta de protección frente a este patógeno, los tratamientos T2 y T3 muestran una reducción considerable en la mortalidad comparados con el control, con diferencias estadísticas claras (R=B para T2 y R=C para T3), el tratamiento T4 refleja la tasa de mortalidad más baja en todas las semanas, con valores mínimos (16 plantas muertas en semana 3 y 59 en semana 5), y rango estadístico D, evidenciando una protección sobresaliente.

La reducción significativa de la mortalidad en T4 sugiere que la aplicación conjunta de aminoácidos y *Trichoderma spp.* mejora la resistencia de la lechuga frente a *Fusarium spp.*, otorgándole una mayor protección a la planta, para evitar plagas.

Minimizar la mortalidad de plantas reduce pérdidas económicas y la necesidad de resiembra, optimizando recursos, estos resultados respaldan que la combinación de aminoácidos y *Trichoderma spp.* no solo mejora el control biológico de *Fusarium spp.*, sino que también fortalece la resistencia general de la planta, favoreciendo una producción sostenible y de alta calidad, con una reducción de agroquímicos.

Rendimiento

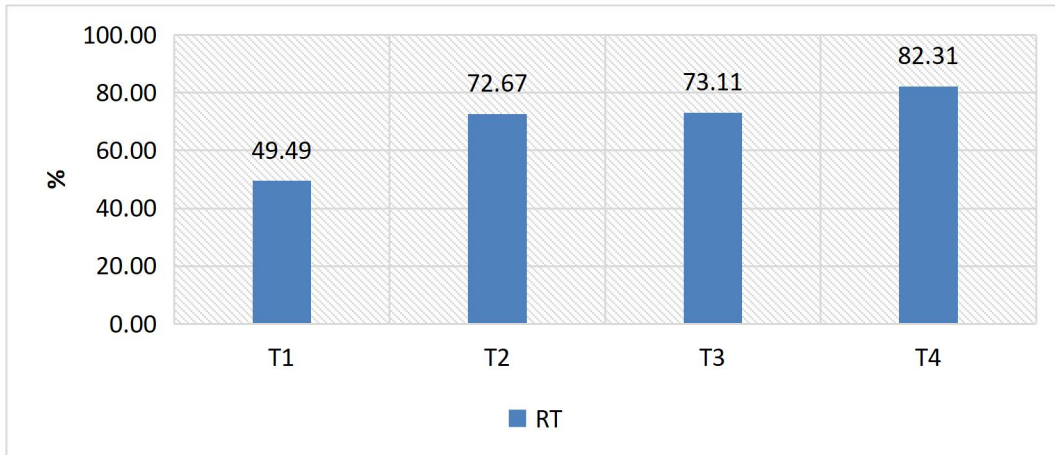


Figura 7. Rendimientos de los tratamientos de estudio.

El rendimiento final muestra un aumento progresivo desde el tratamiento T1 hasta T4, lo que indica una mejora significativa en la productividad del cultivo con la aplicación de los tratamientos, el tratamiento T4 (*Trichoderma* spp. + Aminoácidos) presenta el mayor rendimiento (82,31%), con un rango A, evidenciando una diferencia significativa respecto a los demás tratamientos, T2 (Aminoácidos) (72,67%) y T3 (*Trichoderma* spp.) (73,11%) muestran un rango B, mostrando un efecto positivo y estadísticamente similar, el tratamiento T1 (testigo) tiene el rendimiento más bajo (49%) y rango C, reflejando la menor productividad, debido a la afectación del patógeno.

El mayor rendimiento obtenido indica una mejor eficiencia productiva y aprovechamiento de los recursos, aspectos clave para la rentabilidad y sostenibilidad del cultivo. La mejora en el rendimiento T4 puede estar asociada a la combinación de aminoácidos y *Trichoderma* spp., proporcionando un mejor control de *Fusarium* spp. y un ambiente radicular más saludable, favorecido por los bioinsumos aplicados, lo que contribuye a prácticas agrícolas sostenibles y eficientes para maximizar la producción de lechuga.

El tratamiento T4 se posiciona como la estrategia más efectiva para incrementar el rendimiento en lechuga, evidenciado por el mayor peso fresco obtenido en las parcelas evaluadas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la aplicación combinada de aminoácidos y *Trichoderma* spp. (tratamiento T4) promueve un crecimiento vegetativo superior en lechuga iceberg, evidenciado por incrementos significativos en altura, diámetro de tallo, número y ancho de hojas en comparación con los tratamientos individuales y el testigo. Esto coincide con estudios previos que han reportado que *Trichoderma* spp. actúa como bioestimulante, mejorando la absorción de nutrientes y estimulando la producción de hormonas de crecimiento, como auxinas, que favorecen la división y elongación celular (21).

La mejora en el vigor vegetal observada en T4 también se traduce en una reducción significativa de la severidad de *Fusarium* spp. y en una menor tasa de mortalidad de plantas, lo que sugiere un efecto sinérgico entre los aminoácidos y el hongo benéfico para fortalecer la resistencia del cultivo frente a este patógeno. Estos resultados son consistentes con investigaciones que destacan la capacidad de *Trichoderma* para activar mecanismos de defensa en las plantas mediante competencia por nutrientes, producción de metabolitos antifúngicos y estimulación de respuestas inmunológicas (22).

Los resultados muestran que el tratamiento combinado de aminoácidos y *Trichoderma* spp. (T4) promovió un incremento significativo en el ancho de hoja en todas las semanas evaluadas, alcanzando un valor máximo de 15.29 cm en la semana 4, superando ampliamente a los tratamientos individuales y al testigo. Teniendo relación con otras investigaciones en las que en comparación con la iluminación desde la parte superior o lateral, la iluminación desde la parte inferior mejoró drásticamente la longitud de las hojas (23).

En el diámetro del tallo los resultados indican que el tratamiento combinado (T4) produjo un incremento significativo y sostenido en el diámetro del tallo, a partir de los 7 días de edad, la planta presenta una tasa de iniciación foliar constante (0,972 hojas día⁻¹) (24).

Se ha demostrado que *Fusarium oxysporum f. sp. lactucae* coloniza tres cultivos que se cultivan comúnmente en rotación con lechuga: brócoli, coliflor y espinaca. En función de la frecuencia de infección de las raíces, no se observaron diferencias significativas entre estos tres cultivos, pero el grado de colonización fue bastante variable. Mientras que el crecimiento de *F. o. lactucae* pareció limitarse a la corteza radicular en el brócoli, el patógeno de la lechuga se recuperó del interior de la estela vascular en el 7,4% y el 50% de las plantas de coliflor y espinaca (25).

En el presente estudio, demostramos que, a 28 °C, el marchitamiento por *Fusarium* se desarrolla más rápidamente en cultivares susceptibles y no susceptibles, La severidad de la enfermedad parece estar relacionada con las características del cultivar, la agresividad del aislamiento y las condiciones de inoculación para la misma raza de virulencia y densidad del inóculo (26).

CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de aminoácidos (24 ml/ha) y *Trichoderma* spp. (4 g/ha) potencia significativamente el crecimiento vegetativo de la lechuga iceberg, aumentando altura, diámetro de tallo, número y ancho de hojas en comparación con tratamientos individuales y el testigo.

La aplicación conjunta de estos bioinsumos disminuye significativamente la severidad del daño provocado por *Fusarium* spp. y reduce la tasa de mortalidad de plantas, promoviendo la sanidad fitosanitaria integral del cultivo y favoreciendo un manejo biológico sostenible que reduce la dependencia de insumos agroquímicos sintéticos.

El empleo de estos agentes biológicos mejora de manera sustancial el rendimiento agronómico de la lechuga iceberg, evidenciando que las estrategias basadas en bioestimulantes y agentes de biocontrol constituyen una alternativa eficaz y viable para optimizar la productividad agrícola, fomentando sistemas de producción agroecológicos y ambientalmente sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rios DADS, Nakamoto MM, Braga ARC, Da Silva EMC. Food coating using vegetable sources: importance and industrial potential, gaps of knowledge, current application, and future trends. *Appl Food Res.* junio de 2022;2(1):100073.
2. Yaseen AA, Takacs MH. The effect of plant biostimulants on the macronutrient content and ion ratio of several lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars grown in a plastic house. *South Afr J Bot.* julio de 2022;147:223-30.
3. Chaski C, Petropoulos SA. The Effects of Biostimulant Application on Growth Parameters of Lettuce Plants Grown under Deficit Irrigation Conditions. En: *The 1st International Electronic Conference on Horticulturae* [Internet]. MDPI; 2022 [citado 31 de mayo de 2025]. p. 4. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-9976/16/1/4>
4. Aguilar RA, Guillen-Juárez AC, Maldonado-Duque E, Rafael-Rutte R, Silupú-Masías JA, Calle-Cheje YH, et al. Enfermedades fungosas asociadas al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y alternativas de control químico in vitro y en condiciones hidropónicas. *Manglar.* 18 de diciembre de 2024;21(4):517-27.
5. García MÁT, Rodríguez ID. Incidence of fertilization organic on growth and development of crop of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Rev Científica Agroecosistemas.* diciembre de 2023;(11(3), 43-52).
6. Molina LC, López Orona CA, Román Román L, Tirado Ramírez MA, Vega Gutiérrez TA. Determinación in vitro de la sensibilidad de aislados de *Fusarium* spp. a fungicidas químicos comerciales. *Av En Investig Agropecu* [Internet]. 22 de agosto de 2023 [citado 31 de mayo de 2025];27(Especial). Disponible en: <https://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/1476>
7. Gilardi G, Franco Ortega S, Van Rijswijk PCJ, Ortu G, Gullino ML, Garibaldi A. A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* of lettuce. *Plant Pathol.* mayo de 2017;66(4):677-88.

8. Rauf A, Subhani MN, Siddique M, Shahid H, Chattha MB, Alrefaei AF, et al. Cultivating a greener future: Exploiting trichoderma derived secondary metabolites for fusarium wilt management in peas. *Heliyon*. abril de 2024;10(7):e29031.
9. Pedrero-Méndez A, Cesarini M, Mendoza-Salido D, Petrucci A, Sarrocco S, Monte E, et al. Trichoderma strain-dependent direct and indirect biocontrol of Fusarium head blight caused by Fusarium graminearum in wheat. *Microbiol Res*. julio de 2025;296:128153.
10. Al-Karaki GN, Othman Y. Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. *South Afr J Bot*. marzo de 2023;154:225-31.
11. Abdelkader M, Voronina L, Baratova L, Shelepova O, Zargar M, Puchkov M, et al. Biostimulants-Based Amino Acids Augment Physio-Biochemical Responses and Promote Salinity Tolerance of Lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*. 14 de julio de 2023;9(7):807.
12. Salinas M, Gandolfo E, Hakim G, Giardina E, Benedetto AD. Foliar Amino Acids Sprays on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Biomass Accumulation. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 20 de enero de 2019;8(01):2183-96.
13. Cavalheiro TRT, Alcoforado RDO, Silva VSDA, Coimbra PPS, Mendes NDS, Cavalcanti EDC, et al. The Impact of Organic Fertilizer Produced with Vegetable Residues in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Cultivation and Antioxidant Activity. *Sustainability*. 24 de diciembre de 2020;13(1):128.
14. Xiong ZR, Gabriel E, Gutierrez A, East C, Kniel KE, Danyluk MD, et al. Biological soil amendments can support survival of pathogenic and non-pathogenic *Escherichia coli* in soils and sporadic transfer to Romaine lettuce. *Int J Food Microbiol*. abril de 2025;434:111147.
15. Murillo SAM, Mendoza AM, Fadul Vásquez CJ. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Rev Colomb Investig Agroindustrial*. 28 de diciembre de 2019;7(1):58-68.
16. Schoffel A, Lopes SJ, Koefender J, Lúcio AD, Camera JN, Golle DP. Tamaño de la muestra para estimar el promedio de variables agronómicas en yuca. *Rev Mex Cienc Agríc*. 8 de mayo de 2021;12(3):369-82.
17. Hong J, Xu F, Chen G, Huang X, Wang S, Du L, et al. Evaluation of the Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Applications on the Growth, Yield, and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*. 12 de octubre de 2022;12(10):2477.
18. Hajji LM plant mortality is critical for assessing the effectiveness of disease management strategies. In this study mortality rates up to 37% were observed, emphasizing the importance of integrated approaches to reduce crop losses Hedfi, Khelif A, Hlaoua W, Rhouma A, Dali S, Bargougui O, et al. *Plant Diseases: Pathogenicity and integrated management overview*. *Microb Biosyst*. 20 de diciembre de 2024;9(2):41-57.
19. Liriano DCRG, Sánchez-Cruz IYY, Placeres-Espinosa DCI, Pérez-Hernández Y, Pérez-Ramos J. Efecto de diferentes dosis de FitoMas-E® en la producción de plántulas de lechuga. 2023;13(1).
20. Mamani M, Filippone MP. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. 2018;(38):(1): 9-21.

21. Ruiz MFC, Ornelas JDJP, Olivas-Orozco GI, Acosta-Muñiz CH, Sepúlveda-Ahumada DR, Pérez-Corral DA, et al. Efecto de Trichoderma spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. Rev Mex Fitopatol Mex J Phytopathol [Internet]. 6 de septiembre de 2018 [citado 26 de junio de 2025];36(3). Disponible en: <https://rmf.smf.org.mx/RevistaMexicana/articulo-hdoi.php?clave=RMF1809-7>
22. Cortés FDCH, Alvarado GC, Sanchez Viveros G. Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. Rev Colomb Biotecnol. 1 de diciembre de 2023;25(2):62-76.
23. Presnov D, Albright LD. Methods to Estimate and Calculate Lettuce Growth. Acta Hortic. mayo de 2005;(674):305-12.
24. Boroujerdnia M, Ansari NA. Effect of Different Levels of Nitrogen Fertilizer and Cultivars on Growth, Yield and Yield Components of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa* L.).
25. Gordon TR, Koike ST. Management of Fusarium wilt of lettuce. Crop Prot. julio de 2015;73:45-9.
26. Guerrero MDM, Martínez CML, Martínez V, Monserrat A, Martinez MC. Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* in lettuce cultivars at different temperatures. Sci Agric. 2024;81:e20220100.