

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: "Evaluación de densidades de siembra en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro con la aplicación de *Trichoderma harzianum* para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC. "

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniera en Agropecuaria

AUTORA: Andrade Enríquez Arleth Nayeli

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Andrade Enríquez Arleth Nayeli con el número de cédula 0450039094 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de densidades de siembra en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro con la aplicación de *Trichoderma harzianum* para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

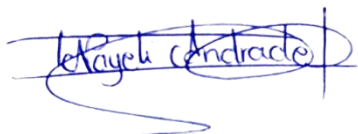
TUTOR

Tulcán, junio de 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Andrade Enríquez Arleth Nayeli con cédula de identidad número 0450039094 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arleth Nayeli Andrade', with a horizontal line drawn underneath it.

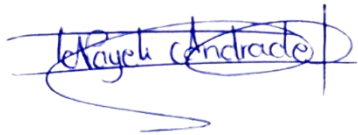
Andrade Enríquez Arleth Nayeli

AUTORA

Tulcán, junio de 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Andrade Enríquez Arleth Nayeli declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de densidades de siembra en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro con la aplicación de *Trichoderma harzianum* para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Andrade Enríquez Arleth Nayeli

AUTORA

Tulcán, junio de 2025

AGRADECIMIENTO

Hoy, al mirar atrás y ver el camino recorrido, no puedo evitar sentir cómo se agolpan en mi corazón las emociones, los recuerdos y, sobre todo, la gratitud.

En primer lugar, agradezco a Dios, porque en medio de cada noche oscura, de cada momento en que sentí que no podía más, su luz fue mi refugio.

Agradezco a mis padres Guido Andrade y Silvana Enríquez que fueron los pilares que me enseñaron con su ejemplo el valor del esfuerzo, el sacrificio y el amor incondicional. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo fue una semilla que hoy florece en este logro.

A mis hermanos y familia por ser mi fuerza en los días difíciles, por sus bromas que arrancaban sonrisas en medio del cansancio y por estar, aún en la distancia, presentes en mi corazón. Gracias por creer en mí, por sostenerme con sus oraciones, sus palabras o simplemente con su presencia. Ustedes han sido un abrigo en esta larga travesía.

A mi pareja sentimental Jhojan Padilla por haber sido ese refugio seguro en medio de todo. Por tomar mi mano en los días difíciles y por quedarse cuando todo parecía cuesta arriba. Gracias porque me diste la libertad de construir mi futuro sabiendo que el presente estaba en buenas manos. Estuviste ahí, sin preguntas, sin exigencias, solo con amor. Siempre voy a agradecerte por haber sido ese pilar silencioso y fuerte que me sostuvo cuando más lo necesité.

A mis dos grandes amigas, Sandy y Jeniffer quienes con su compañía y comprensión se convirtieron en hermanas del alma. Gracias por ser refugio, apoyo, y por recordarme que no estaba sola.

Andrade Enríquez Arleth Nayeli

DEDICATORIA

A ti, mi hijo amado.

Este logro es tuyo tanto como mío. Fuiste mi luz en los días más grises, mi fuerza cuando el cansancio me doblaba y la razón por la que jamás me rendí. A pesar de tu corta edad y de tu inocencia, has sido testigo silencioso de mi lucha.

Muchas veces me viste sonreír sin saber que escondía lágrimas, y dormiste tranquilo mientras yo estudiaba a escondidas, en silencio, cuidando que tus sueños no se interrumpieran, mientras los míos se construían por y para ti.

Fui madre de día, estudiante de noche, y en cada rol di lo mejor de mí, porque tú lo mereces todo. Cada desvelo, cada tarea hecha en la madrugada, cada momento de agotamiento tuvo sentido al mirarte y recordar que eras mi mayor motivo.

Este trabajo no es solo una tesis, es una promesa cumplida. La promesa de que lucharé siempre por darte un futuro mejor, por enseñarte con el ejemplo que los sueños se alcanzan con esfuerzo y que el amor de una madre no conoce límites.

Todo lo que soy, todo lo que he logrado y todo lo que aún sueño lleva tu nombre

Andrade Enríquez Arleth Nayeli

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 El cultivo de papa	23
2.2.1.1 Origen.....	23
2.2.1.2 Taxonomía del cultivo.....	24
2.2.1.3 Fenología del cultivo.....	24
2.2.1.4 Morfología.....	24
2.2.1.5 Requerimiento edafoclimático	25
2.2.2 Variedad de papa Diacol Capiro	26
2.2.3 Importancia del tubérculo semilla de papa	26
2.2.3.1 Categorías de semilla de papa.....	27
2.2.3.2 Características agronómicas de la semilla de papa	28
2.2.3.3 Tamaño y características del tubérculo semilla	28
2.2.4 Densidad de siembra.....	29

2.2.5	Trichoderma.....	30
2.2.5.1	Trichodermas de mayor importancia.....	30
2.2.5.2	Mecanismos de acción.....	31
2.2.5.3	Función en la planta.....	31
2.2.5.4	TrichoSym Bio: Trichoderma harzianum T78.....	31
III.	METODOLOGÍA	34
3.1.	ENFOQUE METODOLÓGICO	34
3.1.1.	Enfoque	34
3.1.2.	Tipo de Investigación.....	34
3.2.	HIPÓTESIS	34
3.3.	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	34
3.3.1.	Definición de las variables	34
3.3.2.	Operacionalización de las variables.....	36
3.4.	MÉTODOS UTILIZADOS	38
3.4.1.	Área de estudio	38
3.4.2.	Tratamientos del diseño experimental.....	38
3.4.3.	Características del diseño experimental	39
3.4.4.	Distribución y características del experimento	39
3.4.5.	Población y muestra de la investigación	40
3.4.6.	Procedimientos	41
3.4.7.	Variables evaluadas.....	42
3.4.7.1.	Altura de planta	42
3.4.7.2.	Diámetro del tallo.....	42
3.4.7.3.	Número de tallos	42
3.4.7.4.	Número de tubérculos.....	42
3.4.7.5.	Clasificación por categorías	42
3.4.7.6.	Peso parcela neta.....	43
3.4.7.7.	Rendimiento.....	43

3.4.7.8. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i>	43
3.4.7.9. Análisis costo - beneficio	44
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. RESULTADOS	45
4.1.1. Altura de planta	45
4.1.2. Diámetro de tallo	46
4.1.3. Número de tallos.....	47
4.1.4. Número de tubérculos.....	47
4.1.5. Rendimiento parcela neta.....	49
4.1.6. Peso de tubérculo por categoría.....	51
4.1.7. Número de tubérculos semilla	52
4.1.8. Rendimiento de tubérculo semilla parcela neta	54
4.1.9. Peso de tubérculo semilla por categoría	55
4.1.10. Rendimiento	56
4.1.11. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i>	59
4.1.12. Análisis costo - beneficio	59
4.2. DISCUSIÓN	61
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. CONCLUSIONES	64
5.2. RECOMENDACIONES	64
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
VII. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa	24
Tabla 2. Clasificación comercial de la papa variedad Diacol Capiro	26
Tabla 3. Características agronómicas de la semilla de papa Diacol Capiro	28
Tabla 4. Clasificación del tubérculo semilla de papa	29
Tabla 5. Densidad de siembra del tubérculo semilla de papa.....	30
Tabla 6. Clasificación Taxonómica de Trichoderma harzianum.....	33
Tabla 7. Operacionalización de variables	36
Tabla 8. Tratamientos de estudio.....	39
Tabla 9. Características del experimento	39
Tabla 10. Número de plantas por unidad experimental y por parcela neta	40
Tabla 11. Análisis de varianza para la altura de planta (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)	45
Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (60, 75 y 90 días)	46
Tabla 13. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)	46
Tabla 14. Análisis de varianza para el número de tallos (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)	47
Tabla 15. Análisis de varianza para el número de tubérculos por categorías.....	48
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos categoría 1	48
Tabla 17. Análisis de varianza para el rendimiento de parcela neta.....	49
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de parcela neta Cat. 1	50
Tabla 19. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de parcela neta Cat. 2. Factor Uso de Trichoderma	50
Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total de parcela neta. Factor Densidad de siembra.....	51
Tabla 21. Análisis de varianza para el peso de tubérculo por categoría	52
Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el peso de tubérculo Cat. 2. Factor Densidad de siembra.....	52
Tabla 23. Análisis de varianza para el número de tubérculos semilla por categorías	53
Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos semilla categoría 1. Factor Densidad de siembra.....	53
Tabla 25. Análisis de varianza para el rendimiento de tubérculo semilla de parcela neta	54

Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de tubérculo semilla de parcela neta	55
Tabla 27. Análisis de varianza para el peso de tubérculo semilla por categoría.....	56
Tabla 28. Análisis de varianza para el rendimiento total del cultivo	57
Tabla 29. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total. Factor Densidad de siembra.....	57
Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de tubérculo semilla	58
Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de tubérculo semilla.....	58
Tabla 32. Análisis de varianza para la Incidencia de Spongospora subterranea	59
Tabla 33. Análisis costo/beneficio tubérculo semilla para el cultivo de papa Diacol Capiro	60
Tabla 34. Costos de producción del cultivo de papa Diacol Capiro Mejor Tratamiento T4.....	71
Tabla 35. Verificación de supuestos: Normalidad y homogeneidad de varianzas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. TrichoSym Bio	32
Figura 2. Ubicación del experimento.....	38
Figura 3. Distribución del ensayo.....	40
Figura 4. Parcela neta	41
Figura 5. Tubérculo de papa afectado por Spongospora sp.	43
Figura 10. Toma de datos para la altura.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	68
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	69
Anexo 3. Costos de producción del cultivo de papa Tratamiento 4	71
Anexo 4. Análisis de suelo del sitio del experimento	72
Anexo 6. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad de varianzas	74
Anexo 7. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial.....	75

RESUMEN

La agricultura contemporánea enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad, productividad y adaptación a condiciones ambientales cambiantes. En este contexto, los bioinsumos, como *Trichoderma harzianum*, se han consolidado como una alternativa prometedora para el control de enfermedades, así como para el estímulo del crecimiento y rendimiento de los cultivos de manera más sostenible y eficiente. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro, en combinación con la aplicación de *Trichoderma harzianum*, con fines de producción de tubérculo semilla. Se analizaron cinco densidades de siembra (15x90, 25x90, 35x90, 25x100 y 30x120 cm), aplicando *T. harzianum* a razón de 4 cc por litro de agua mediante drench al momento de la siembra. Los resultados indicaron que las densidades intermedias (25x90 cm y 25x100 cm) fueron las más eficientes para maximizar el rendimiento total de tubérculo semilla. Aunque las densidades más amplias (30x120 cm y 35x90 cm) favorecieron un mayor rendimiento total del cultivo, no se observaron diferencias significativas en la incidencia de *Spongospora subterranea*, debido a su baja presencia (3,72%). La combinación de densidades intermedias con la aplicación de *T. harzianum* se destacó como la estrategia más efectiva para optimizar la producción de tubérculo semilla, resaltando el valor del bioinsumo como bioestimulante en condiciones de baja presión del patógeno. Desde una perspectiva económica, el tratamiento T4 (25X100:Trychod) resultó ser el más rentable, con un retorno de 3,20 USD por cada dólar invertido, consolidándose como la alternativa más eficiente.

Palabras Claves: Diacol Capiro, Sostenibilidad agrícola, Control biológico, Densidad de siembra, Tubérculo, Semilla

ABSTRACT

Contemporary agriculture faces significant challenges in terms of sustainability, productivity, and adaptation to changing environmental conditions. In this context, bioinputs, such as *Trichoderma harzianum*, have established themselves as a promising alternative for disease control, as well as for stimulating crop growth and yield in a more sustainable and efficient way. The present study aimed to evaluate the effect of different planting densities in the potato crop (*Solanum tuberosum*) variety Diacol Capiro, in combination with the application of *Trichoderma harzianum*, for the purpose of seed tuber production. Five planting densities were analyzed (15x90, 25x90, 35x90, 25x100 and 30x120 cm), applying *T. harzianum* at a rate of 4 cc per liter of water through drench at the time of planting. The results indicated that intermediate densities (25x90 cm and 25x100 cm) were the most efficient for maximizing total seed tuber yield. Although wider densities (30x120 cm and 35x90 cm) favored higher total crop yield, no significant differences were observed in the incidence of *Spongospora subterranea*, due to its low presence (3.72%). The combination of intermediate densities with the application of *T. harzianum* was highlighted as the most effective strategy for optimizing seed tuber production, highlighting the bioinput's value as a biostimulant under conditions of low pathogen pressure. From an economic perspective, treatment T4 (25x100:Trychod) proved to be the most profitable, with a return of USD 3.20 for every dollar invested, establishing itself as the most efficient alternative.

Keywords: Diacol Capiro, Agricultural sustainability, biological control, Planting density, Tuber, Seed.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola enfrenta actualmente grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad, la eficiencia y la sanidad de los cultivos. En particular, el uso intensivo de agroquímicos, aunque ha contribuido al aumento de la productividad, ha generado impactos negativos en el medio ambiente, la salud humana y la calidad del suelo (Castillo et al., 2020). Ante esta situación, se vuelve urgente la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que permitan mantener o mejorar los rendimientos sin comprometer los recursos naturales.

En Ecuador, la papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los cultivos más importantes por su valor económico, social y alimentario. En 2023, se sembraron 19.836 hectáreas, con una producción total de 262.038 toneladas métricas y un rendimiento promedio nacional de 13,21 t/ha. La provincia de Carchi se destacó con una productividad de 21,7 t/ha, consolidándose como la principal zona productora del país (ESPAC, 2023). Este cultivo es el sustento de más de 88.000 agricultores y está vinculado a unas 250.000 personas, generando millones de jornales e ingresos anuales, lo que lo convierte en un pilar de la economía rural.

A pesar de su importancia, la producción de papa en Ecuador presenta limitaciones significativas, entre ellas la baja calidad genética y sanitaria de la semilla, el uso prolongado de material vegetativo con la misma línea genética y el manejo agronómico inadecuado. Estas condiciones afectan directamente la productividad y aumentan los costos de producción, especialmente por la dependencia de agroquímicos (Velásquez et al., 2021; Gaón, 2018). Además, enfermedades del suelo como la rizoctoniasis representan una amenaza constante para el cultivo, reduciendo su valor comercial y afectando la rentabilidad de los productores (Beltrán et al., 2011).

En este contexto, la implementación de estrategias sostenibles como el uso de bioinsumos y la optimización de la densidad de siembra se presenta como una alternativa viable. El hongo benéfico *Trichoderma harzianum*, presente en productos como TrichoSym Bio, ha demostrado ser eficaz en el control de diversas enfermedades fúngicas sin afectar negativamente el suelo. Por el contrario, mejora

la salud de la rizósfera, estimula el crecimiento vegetativo y contribuye a una mayor productividad (Chiriboga et al., 2015).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra y la aplicación de *Trichoderma harzianum* en la producción de semilla de papa de la variedad Diacol Capiro, en el Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). Se analizaron cinco densidades de siembra (15x90, 25x90, 35x90, 25x100 y 30x120 cm), con el propósito de identificar las combinaciones más eficientes en términos de rendimiento, calidad de semilla y rentabilidad. Los resultados obtenidos buscan aportar información técnica útil para los agricultores, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles que mejoren la productividad, reduzcan el impacto ambiental y fortalezcan la economía local.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de papa es una actividad agrícola de gran importancia en numerosos países, pero solo algunos logran niveles óptimos de rendimiento. Mientras Holanda alcanza una producción de 44 toneladas por hectárea, Bolivia y Ecuador presentan los índices más bajos, con valores entre 6 y 7 toneladas por hectárea (Pumisacho y Sherwood, 2002). Dado que la demanda de papa es elevada, es fundamental garantizar un producto de calidad. Sin embargo, uno de los principales obstáculos es la disminución de semillas con buena genética, lo que afecta directamente la productividad y rentabilidad del cultivo.

En Ecuador, la producción de papa depende en gran medida de la multiplicación del tubérculo-semilla, un método accesible que permite conservar las características de cada variedad. No obstante, la falta de control sobre su origen puede comprometer su calidad genética y sanitaria, aumentando los costos de producción debido al uso excesivo de agroquímicos (Velásquez et al., 2021). Además, la repetida utilización de semillas con la misma línea genética durante varios ciclos vegetativos afecta su calidad fisiológica y física, generando repercusiones negativas en la productividad del cultivo (Gaón, 2018).

La provincia de Carchi representa el 41,27% de la producción nacional de papa, lo que la convierte en la principal región productora (Orbe y Cuichán, 2022). Sin embargo, los agricultores enfrentan dificultades para mantener niveles óptimos de rendimiento debido a la adquisición de semillas con problemas sanitarios, el manejo agronómico deficiente provocado por limitaciones económicas y el uso inadecuado de productos químicos. Esta problemática se agrava con el incremento alarmante en el costo de los agroquímicos como consecuencia de conflictos internacionales que han reducido las importaciones y aumentado los precios unitarios (ICA, 2023).

Además, enfermedades del suelo como la rizoctoniasis representan un desafío significativo, afectando el cultivo en cualquier fase fenológica. Esta enfermedad provoca pudrición de raíces, impide el desarrollo adecuado de la planta y ocasiona malformaciones, reduciendo su valor comercial y afectando la rentabilidad de los productores (Beltrán et al., 2011).

La producción de papa en la provincia de Carchi, a pesar de su relevancia a nivel nacional, enfrenta múltiples desafíos que afectan su rendimiento y sostenibilidad. Entre los principales factores se encuentra la disminución de la calidad genética y sanitaria de la semilla, lo que compromete el desarrollo del cultivo y eleva los costos de producción debido al uso intensivo de agroquímicos. Asimismo, el empleo prolongado de semillas con la misma línea genética ha generado una reducción en su vigor fisiológico y físico, afectando la productividad. En este contexto, la evaluación de densidades de siembra y la aplicación de *Trichoderma harzianum* surgen como estrategias prometedoras para mejorar la calidad de la semilla y optimizar el rendimiento del cultivo, permitiendo una producción más eficiente y sostenible.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La elección inadecuada de densidades de siembra y el uso de semillas con baja calidad genética y sanitaria afectan negativamente la productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro, incrementando los costos de producción y reduciendo la calidad del producto final.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es un cultivo clave en Ecuador por su importancia económica y social. En 2023, se sembraron 19.836 hectáreas, produciendo 262.038 toneladas métricas, con un rendimiento promedio nacional de 13,21 t/ha. La provincia de Carchi destacó con una productividad de 21,7 t/ha en 5.113 hectáreas. Este cultivo es fuente de sustento para más de 88.000 agricultores y está relacionado con unas 250.000 personas, generando 3,5 millones de jornales anuales y aproximadamente 70 millones de dólares en ingresos, siendo fundamental para la economía rural (ESPAC, 2023).

En la producción de papa, es fundamental contar con tubérculos-semilla que presenten buenas características físicas y estén libres de patógenos. Asimismo, disponer de un material vegetal sano y uniforme permite acceder a mercados

industriales, lo que ayuda a mitigar el impacto de los bajos precios en el mercado, evitando pérdidas económicas para la mayoría de los agricultores. Según Montesdeoca (2005), la calidad de la semilla es un factor clave que favorece el desarrollo óptimo del cultivo y, en consecuencia, incrementa significativamente la producción.

Obtener semilla de papa de alta calidad y con buenas características permite reducir el uso de insumos agrícolas, lo que a su vez disminuye los costos de producción y reduce las pérdidas económicas (ICA, 2023). Además, uno de los factores clave para lograr una semilla de calidad y con buen rendimiento es la adecuada distancia de siembra. Según Montesdeoca (2005), este aspecto influye directamente en el desarrollo del cultivo. Así mismo, señala que una alta densidad de siembra incrementa el número de tallos por planta, lo que genera una mayor cantidad de tubérculos, aunque de menor tamaño, favoreciendo así la producción de semilla en mayor volumen.

Para lograr una producción de semilla de papa de alta calidad, es fundamental emplear productos que contribuyan a este objetivo. En la presente investigación se consideró el uso de *TrichoSym Bio*, un biofungicida orgánico cuyo ingrediente activo es el hongo benéfico *Trichoderma harzianum* cepa T-78. Este microorganismo es eficaz en el control de diversas enfermedades fúngicas como *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Spongospora subterranea* y *Verticillium* spp. A diferencia de los productos químicos convencionales, *TrichoSym Bio* no degrada el suelo; por el contrario, promueve un entorno microbiológico saludable en la rizósfera, favoreciendo el crecimiento vegetativo y aumentando la productividad del cultivo (Chiriboga et al., 2015).

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el efecto de la densidad de siembra y la aplicación de *Trichoderma harzianum* en la producción de tubérculo semilla de papa de la variedad Diacol Capiro. Los resultados buscan ofrecer información valiosa que permita a los agricultores adoptar prácticas sostenibles, con el fin de mejorar el rendimiento y la productividad del cultivo, contribuyendo así al fortalecimiento de su economía.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar densidades de siembra en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro con la aplicación de *Trichoderma harzianum* para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el efecto de diferentes densidades de siembra sobre el rendimiento de tubérculo semilla de papa.
- Evaluar la eficacia de *Trichoderma harzianum* como agente de control biológico frente a *Spongospora subterranea* y su influencia en la producción de tubérculo semilla de papa.
- Realizar un análisis económico de los tratamientos aplicados para establecer su rentabilidad mediante la relación costo-beneficio.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo influye la densidad de siembra en el rendimiento de la semilla de papa?
- ¿Qué efecto tiene el uso de *Trichoderma harzianum* como agente de control biológico frente a *Spongospora subterranea* y su influencia en la producción de tubérculo semilla de papa?
- ¿Cuál es la rentabilidad de los tratamientos aplicados, según el análisis costo-beneficio?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Malte (2022), en su estudio titulado "*Efecto del peso y densidad de siembra en la producción de semilla básica de papa (Solanum tuberosum L. var. Superchola) en sustrato, Montúfar, Carchi*", empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones. Los resultados indicaron que la combinación de una densidad de siembra de 25x100 cm y un peso de semilla de cinco gramos (tratamiento D2P1) generó el mayor rendimiento individual, alcanzando los 271,84 kg. El rendimiento total del experimento, considerando todas las densidades y pesos evaluados, fue de 3.762,89 kg en un área de 0,56 ha, ajustado al 5 % se obtuvo un rendimiento de 3.577,01 kg. No obstante, el análisis económico reveló que el proyecto no fue viable, ya que presentó utilidades brutas negativas en los tres factores evaluados, con pérdidas que oscilaron entre -137,55 y -173,74 dólares, y una pérdida promedio de 0,21 dólares por tratamiento en el estudio general.

Solano (2018), en su investigación titulada "*Evaluación de cuatro densidades de siembra de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Superchola, categoría básica, para la producción de semilla registrada, en el Cantón Bolívar, Carchi*", evaluó seis tratamientos con diferentes densidades de siembra: T1 (30x110 cm), T2 (40x110 cm), T3 (30x120 cm), T4 (40x120 cm), T5 (60x100 cm) y T6 (25x100 cm). Se midieron variables como días a la emergencia, altura de planta, número de tallos por planta, días a la cosecha, número de tubérculos, rendimiento, clasificación por categorías y se realizó un análisis económico. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar. Los resultados mostraron que la emergencia ocurrió entre los 21 y 23 días, y las alturas promedio de planta a los 30, 60 y 90 días fueron de 20,32 cm, 52,51 cm y 74,51 cm, respectivamente. El mayor número de tallos por planta se registró en el tratamiento T5 con 7,08 tallos/planta, mientras que la cosecha se realizó a los 172 días. En cuanto al rendimiento y número de tubérculos, el tratamiento T2 fue el más destacado, con 29,30 tubérculos y 3,19 kg por planta. La clasificación de los tubérculos según su tamaño reveló que los mayores valores por categoría se

obtuvieron con los tratamientos T6 (pequeña), T4 (mediana), T2 (grande) y nuevamente T2 (gruesa). El análisis económico determinó que el tratamiento T6 generó la mayor utilidad bruta, alcanzando un valor de 31.351,00 dólares por hectárea.

Campos (2022), en su investigación titulada "*Influencia de la densidad de siembra y un biofermento foliar con EM en la producción de semilla registrada de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Canchan en condiciones edafoclimáticas de Chocobamba, Huacrachuco 2020*", desarrolló un estudio de tipo aplicado y nivel experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3x3, conformado por dos factores (densidad de siembra y aplicación de biofermento), nueve tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando 36 unidades experimentales. El análisis estadístico se realizó mediante ANDEVA, con niveles de significancia del 5 % y 1 %. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en el número de tubérculos por planta ni en el diámetro polar y ecuatorial de los tubérculos entre los factores evaluados ni en su interacción. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el rendimiento estimado por hectárea, donde el tratamiento T1 (con menor densidad) alcanzó el mayor rendimiento con 62,04 toneladas por hectárea. En términos de peso por área neta experimental, el tratamiento T4 obtuvo el mayor valor con 14,17 kg. Estos hallazgos sugieren que, aunque la densidad de siembra y el uso de biofermento no influyeron significativamente en algunas variables morfológicas, sí tuvieron impacto en el rendimiento estimado a escala comercial.

Toapanta (2024), en su estudio titulado "*Evaluación de enraizantes en esquejes de dos variedades de papa Súperchola (Solanum tuberosum) e INIAP-Puca Shungo (Solanum andigenum) en la Estación Experimental Santa Catalina – INIAP*", evaluó el efecto de distintos enraizantes sobre el desarrollo de esquejes en condiciones controladas. La investigación se llevó a cabo utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCAs) con un arreglo factorial AxB. El factor A correspondió a las variedades de papa y el factor B a los enraizantes aplicados (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, un producto a base de café "Minerva" y un testigo con Hormonagro1), conformando ocho tratamientos con tres repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Se evaluaron variables como porcentaje de prendimiento, altura de brotes, número de raíces, longitud y peso de raíces. El análisis estadístico incluyó ANOVA y prueba de Tukey al 5 %. Los resultados mostraron que,

aunque no hubo diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de prendimiento, el tratamiento V2E2 (INIAP-Puca Shungo + *Bacillus subtilis*) presentó el valor más alto (92,18 %). Este mismo tratamiento también destacó en longitud de brote (4,26 cm) y número de raíces (9,89), mientras que el tratamiento V2E3 (INIAP-Puca Shungo + Minerva) obtuvo el mayor peso de raíces (0,36 g). El análisis económico arrojó una relación beneficio/costo de 1,39, lo que indica que por cada dólar invertido se obtuvo una ganancia de 0,39 centavos. Aunque el tratamiento con *Trichoderma harzianum* no presentó los valores más altos en todas las variables, su inclusión en el estudio resalta su potencial como bioinsumo en la propagación vegetativa de papa. Este hongo benéfico es conocido por su capacidad para estimular el desarrollo radicular, mejorar la absorción de nutrientes y proteger contra patógenos del suelo.

Leal et al. (2017) evaluaron el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal como una alternativa sostenible frente al uso intensivo de fertilizantes sintéticos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). El estudio tuvo como objetivo analizar el efecto del yeso agrícola en combinación con *Trichoderma harzianum*, *Bacillus cereus*, *B. subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo. Se aplicaron tres tratamientos bajo un diseño completamente al azar en condiciones de casa sombra y riego por goteo: un testigo (T1), *Trichoderma harzianum* con 40 kg/ha de calcio (T2), y la combinación de los cuatro microorganismos con la misma dosis de calcio (T3), utilizando yeso agrícola como fuente de este nutriente. Las variables evaluadas incluyeron altura de planta, contenido de clorofila, composición nutrimental foliar, y características del tubérculo como número, peso y peso volumétrico. Aunque no se observaron diferencias significativas en el contenido de clorofila, el tratamiento T3 mostró incrementos notables en el número de tubérculos (51,5 %) y en el rendimiento (49,4 %) en comparación con el testigo. Además, este tratamiento presentó una mayor eficacia en el control biológico de *Streptomyces* en los tubérculos. Si bien el tratamiento combinado fue el más destacado, el uso de *Trichoderma harzianum* fue clave dentro de esta estrategia, evidenciando su potencial como bioinsumo tanto en la promoción del crecimiento vegetal como en el control de patógenos del suelo. Estos resultados refuerzan el valor de *Trichoderma harzianum* como componente esencial en prácticas agrícolas sostenibles orientadas a mejorar la productividad y calidad del cultivo de papa.

Chávez (2022), evaluó la eficacia de distintas estrategias para el manejo de *Spongospora subterranea f. sp.* en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Súper Chola, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El estudio consideró dos factores: el tipo de producto (químicos como Azoxystrobin y Fluazinam, biológico como *Trichoderma* sp., y un enraizante) y los momentos de aplicación (siembra, retape y deshierba), lo que resultó en ocho tratamientos. Las variables analizadas incluyeron emergencia, altura de planta, número de tallos, incidencia y severidad de *Spongospora* en raíces y tubérculos, rendimiento (kg/ha) y análisis costo-beneficio (USD). Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas, destacándose el tratamiento con Fluazinam (T2), que alcanzó el mayor rendimiento con 6094 kg/ha y una utilidad de 746,7 dólares por hectárea. En cuanto a la incidencia de la enfermedad, Fluazinam y Azoxystrobin presentaron los menores promedios (27,33% y 22,29%, respectivamente), mientras que *Trichoderma* sp. registró un promedio de 30,86%.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 El cultivo de papa

La papa (*Solanum tuberosum*) es reconocida como el tercer alimento básico más consumido a nivel mundial, después del arroz y el trigo. Se estima que alrededor de 1,4 millones de personas la consumen regularmente, con un promedio anual de 50 kilogramos por persona. A nivel global, la producción total de este cultivo supera los 3.000 millones de toneladas. La papa pertenece a la familia de las solanáceas, un grupo de plantas con flores (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2017).

2.2.1.1 Origen

La papa (*Solanum tuberosum*), originaria de Sudamérica, fue domesticada hace entre 7.000 y 10.000 años en la región andina del lago Titicaca, donde constituyó un alimento esencial para las civilizaciones precolombinas. Desde allí, su cultivo se expandió por los Andes, desde el sur de Colombia hasta el centro de Chile, y más tarde a Europa, alcanzando una distribución global. En Colombia y Ecuador, su presencia se remonta a aproximadamente 500 años a. C. Dentro de esta diversidad, la variedad nativa chaucha amarilla, perteneciente al grupo *Solanum phureja*, también se originó en los Andes y ha sido parte fundamental de la dieta tradicional andina (Castillo et al., 2021; Morales, 2016).

2.2.1.2 Taxonomía del cultivo

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa

Categoría	Nombre
Reino:	Plantae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanácea
Género:	Solanum
Especie:	tuberosum

Fuente: (Inostroza, 2021)

2.2.1.3 Fenología del cultivo

Según Benítez (2018), el desarrollo fenológico de la papa se divide en varias etapas, cada una con características fisiológicas específicas:

- **Emergencia o brotación:** Comienza tras la siembra del tubérculo-semilla y depende del estado fisiológico, la variedad y las condiciones de almacenamiento. Durante esta fase, se activan procesos bioquímicos que dan lugar a la germinación, iniciando con el desarrollo de raíces, seguido por tallos y hojas.
- **Crecimiento de brotes laterales:** Una vez emergida la plántula, se inicia la fotosíntesis, proceso esencial para el crecimiento. En esta etapa se desarrollan tallos secundarios, hojas y estolones.
- **Inicio de la tuberización:** Mientras continúa el crecimiento vegetativo, comienzan a formarse los primeros tubérculos en los estolones, marcando el inicio de la producción subterránea.
- **Llenado de tubérculos:** Coincide con el inicio de la floración. Los tubérculos comienzan a acumular agua, carbohidratos y otros nutrientes, lo que permite su expansión y aumento de peso.
- **Maduración:** Es la fase final del ciclo. La planta entra en senescencia, evidenciada por el amarillamiento del follaje, aunque este cambio visual puede variar según la variedad.

2.2.1.4 Morfología

La papa (*Solanum tuberosum*) pertenece a la familia de las solanáceas y se caracteriza por ser una planta herbácea dicotiledónea, con crecimiento rastrero o erecto. Sus tallos, que pueden alcanzar entre 0,60 y 1,50 metros de altura, son gruesos, angulosos y huecos en los entrenudos, con tonalidades que varían entre verde y púrpura. Las hojas son compuestas, de disposición alterna, y presentan una estructura pinnada que le da al follaje una apariencia densa, especialmente en variedades

mejoradas. En etapas tempranas, las plántulas pueden desarrollar hojas simples, que evolucionan a compuestas en su madurez (Pusimancho & Sherwood, 2002).

Según estos autores, la planta de papa presenta las siguientes estructuras:

- Raíces: Se desarrollan por reproducción asexual, ya sea a partir de semillas o tubérculos. Las raíces axonomorfas provienen de semillas, mientras que los tubérculos generan raíces adventicias en los nudos subterráneos y estolones.
- Tallo: Incluye el tallo principal, estolones y tubérculos. Las plantas originadas de semillas producen un solo tallo, mientras que las provenientes de tubérculos generan varios. Los tallos secundarios emergen como ramas del principal.
- Tubérculos: Se forman en los extremos de los estolones y contienen yemas u "ojos". Su crecimiento se debe a la acumulación de tejidos de reserva, principalmente almidón, en la corteza y médula.
- Brotes: Nacen de las yemas del tubérculo. Su color varía según la variedad y, al exponerse a la luz, se tornan verdes. La base del brote forma el tallo inferior, capaz de generar raíces, estolones y nuevos tallos.
- Hojas: Son compuestas, con folíolos laterales y uno terminal. Participan activamente en la fotosíntesis, transpiración y en la síntesis de almidón, que luego se transfiere a los estolones.
- Inflorescencia: La floración depende del fotoperiodo y la temperatura. Las flores, dispuestas en racimos, son hermafroditas y pentámeras, con pétalos y sépalos de diversos colores. La autopolinización es común, mientras que la cruzada es menos frecuente en variedades tetraploides.
- Fruto y semilla: El fruto es una baya que contiene entre 200 y 300 semillas. Aunque no se usan comúnmente en la producción comercial, las semillas sexuales son valiosas en programas de mejoramiento genético.

2.2.1.5 Requerimiento edafoclimático

La papa es un cultivo que se adapta a zonas de clima templado y fresco, siendo óptimas las temperaturas entre 13 y 18 °C. Aunque puede tolerar hasta 25 °C, esto favorece el crecimiento de la planta, pero reduce la producción de tubérculos. Si la temperatura baja de 6 a 8 °C, el desarrollo se detiene completamente, fenómeno conocido como "cero vegetativo" (InfoAgro, 2023). Este cultivo puede establecerse entre los 1800 y 3200 metros sobre el nivel del mar, siempre que se mantenga una humedad relativa entre 70% y 80%, y se utilicen suelos con buena profundidad, ricos en materia orgánica, bien aireados y con un pH ligeramente ácido, entre 5,5 y 6,5.

Además, es esencial un manejo eficiente del agua, ya que tanto el exceso como la escasez pueden afectar negativamente el rendimiento (Quintana, 2018).

2.2.2 Variedad de papa Diacol Capiro

La variedad Diacol Capiro, originaria de Colombia, fue desarrollada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en el año de 1968. Presenta una buena adaptación a altitudes que oscilan entre los 1800 y 3200 metros sobre el nivel del mar. En Colombia, se cultiva principalmente en la región de Antioquia, mientras que en Ecuador se siembra en la Sierra norte y centro (Ñustez, 2010).

Esta variedad tiene un ciclo vegetativo promedio de 165 días, aunque puede variar entre cuatro meses y medio y seis meses, dependiendo de la temperatura de la zona de cultivo (Porras y Herrera, 2015). Según Ñustez (2010), Diacol Capiro es altamente susceptible al hongo *Phytophthora infestans* y al virus del amarillamiento de venas de la papa (PVYV).

En cuanto a su rendimiento, Diacol Capiro puede alcanzar hasta 40 toneladas por hectárea, superando a la variedad Superchola, una de las más cultivadas en la provincia de Carchi, que rinde aproximadamente 30 toneladas por hectárea. Además, Diacol Capiro muestra una mayor adaptabilidad. Sin embargo, su rendimiento puede verse afectado si se cultiva en suelos de textura franco-arenosa, debido a la baja capacidad de retención de humedad que estos presentan (Porras y Herrera, 2015).

Tabla 2. Clasificación comercial de la papa variedad Diacol Capiro

Denominación técnica	Denominación comercial	Peso promedio tubérculo (g)
Primera	Tronco	Más de 120
Segunda	Revoltura	80 a 119
Tercera	Semilla	50 a 79
Cuarta	Menuda	Menos de 50

Fuente: (Porras y Herrera, 2015)

2.2.3 Importancia del tubérculo semilla de papa

Torres et al. (2011) subrayan que el uso de semillas de alta calidad es esencial para lograr una producción eficiente de papa, ya que estas permiten una emergencia más uniforme y vigorosa, lo que se traduce en un mayor rendimiento y un uso más eficiente de los insumos agrícolas. De manera complementaria, Porras y Herrera (2015) indican que, para garantizar la calidad de la semilla, es necesario descartar los tubérculos deformes, con brotes mal distribuidos, brotes ciegos o con signos de

enfermedades. Asimismo, recomiendan aplicar tratamientos con insecticidas y fungicidas para proteger las semillas de posibles patógenos que puedan afectar su desempeño. En la misma línea, Andrade (2015) afirma que una semilla de calidad posee un alto potencial productivo, debe estar libre o presentar una baja incidencia de plagas y enfermedades, y contar con las condiciones adecuadas de madurez, humedad y energía para una brotación eficaz. Además, debe conservar las características de las variedades mejoradas sin mostrar signos de degeneración, lo que permite obtener cosechas con altos niveles de productividad y excelentes características comerciales.

En Ecuador, la producción comercial de papa se basa en la reproducción vegetativa mediante la siembra de tubérculos, lo que preserva la identidad genética del cultivo, pero también facilita la propagación de plagas y enfermedades. En la provincia de Carchi, la producción de semilla certificada se ve limitada por la presencia de vectores virales, lo que dificulta el cumplimiento de las normativas vigentes. La mayoría de los agricultores utiliza semillas informales o de baja calidad, conocidas como "semillas mejoradas" o "pintadas", lo que conlleva baja productividad, altos costos y mayor diseminación de enfermedades. Por ello, se recomienda el uso de semilla certificada, que ofrece ventajas significativas en sanidad y rendimiento (Porras y Herrera, 2015).

2.2.3.1 Categorías de semilla de papa

Según Velásquez et al. (2021), la semilla de papa se clasifica en distintas categorías según su calidad y el nivel de degradación genética que haya experimentado a lo largo de los ciclos de cultivo:

- Semilla Fito mejorador o genética: Es la semilla inicial obtenida a partir del mejoramiento vegetal. Se produce en condiciones controladas, generalmente *in vitro*, y constituye la base para la producción de semilla básica.
- Semilla Básica: Proviene de la multiplicación de la semilla genética. Está sujeta a procesos de certificación para asegurar su pureza e identidad genética. Se identifica con membretes de color blanco.
- Semilla Registrada: Se obtiene a partir de la semilla básica y también pasa por controles de calidad. Se distingue por llevar un membrete de color rojo.

- Semilla Certificada: Resulta de la multiplicación de la semilla registrada. Cumple con estándares de calidad y se identifica mediante un membrete de color celeste.
- Semilla Común: Es producida por pequeños agricultores, quienes seleccionan los tubérculos según criterios empíricos. Esta práctica, aunque común, contribuye al deterioro genético de la semilla y a la pérdida de calidad a lo largo del tiempo.

2.2.3.2 Características agronómicas de la semilla de papa

La tabla 2 resume las principales características agronómicas de la semilla de papa, incluyendo su ciclo de desarrollo, enfermedades comunes, rendimiento y condiciones óptimas de cultivo, información clave para una producción eficiente.

Tabla 3. Características agronómicas de la semilla de papa Diacol Capiro

Variables	Parámetros
Días de floración	87 - 105 días
Días de cosecha	117- 141 días
Maduración	Semitarvío (165 días)
Enfermedades	Phytophthora infestans y PVV
Rendimiento (t/ha)	40 t/ha
Zona recomendada	2.500 a 3.500 msnm
Contenido de materia seca	17 – 22%

Fuente: (Porras y Herrera, 2015)

2.2.3.3 Tamaño y características del tubérculo semilla

El tamaño del tubérculo-semilla es un aspecto clave en la producción de papa, ya que influye directamente en su capacidad de brotación y desarrollo. Según la clasificación propuesta por Pumisacho y Velásquez (2009), las semillas de primera categoría presentan un peso aproximado de 100 g y un diámetro mayor de 8 cm, mientras que las de segunda categoría oscilan entre 40 y 100 g de peso y entre 4 y 8 cm de diámetro. Por su parte, las semillas de tercera categoría tienen un peso inferior a 40 g y un diámetro menor a 4 cm, lo que puede afectar su desempeño en campo si no se ajusta la densidad de siembra.

Tabla 4. Clasificación del tubérculo semilla de papa

Denominación	Peso (g)	Diámetro mayor (cm)
Primera	100	8
Segunda	40 a 99	4 a 8
Tercera	Menor a 40	Menor

Fuente: (Pumisacho y Velásquez 2009)

Un tubérculo-semilla de calidad debe ser uniforme de 30 a 60 gramos aproximadamente, con buenas características específicas de la variedad como el color de pulpa y piel. De la misma manera, no debe presentar síntomas de afecciones como *Spongospora subterránea*, *Rhizoctonia solani*, cortes, piel encogida, ataques por plagas o golpes. Debe contener brotes con buena apariencia, vigorosos y sin deformaciones (Albornoz, 1959).

2.2.4 Densidad de siembra

La densidad de siembra se refiere al número de plantas establecidas por unidad de área, y es un factor clave para optimizar el uso del espacio disponible y determinar el tamaño del tubérculo. Los tubérculos de menor tamaño suelen tener más ojos, lo que favorece la formación de un mayor número de tallos. Sin embargo, si la cantidad de plantas no es suficiente para cubrir adecuadamente la superficie sembrada, se produce una siembra muy espaciada. Esto retrasa el cierre del follaje y deja áreas descubiertas, facilitando el crecimiento de malezas que compiten con el cultivo (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Las diferentes densidades afectarán de manera directa a la producción de tubérculo semilla de papa. Al manejar mayores densidades de siembra se obtiene un número alto de plantas por área haciendo que haya proliferación de enfermedades por falta de aireación, competencia por nutrientes, agua y luz. Además, genera más cantidad de tubérculo semilla, pero es de menor calibre. Por otro lado, en densidades de siembra bajas se obtiene menor cantidad de plantas por unidad experimental generando tubérculo semilla de mayor tamaño, pero en menor cantidad. De la misma manera al ser densidades bajas tienen menor competencia aprovechando mejor los nutrientes. En conclusión, manejar densidades de siembra produce tubérculo semilla con buen peso, tamaño y uniformidad (Albornoz, 1959).

Tabla 5. Densidad de siembra del tubérculo semilla de papa

Distancias surco en (m)	Distancia plantas en (m)	Peso de semilla en (g)	Semilla por hectárea (kg)
0.9	0.35	70	2222
		80	2540
		90	2857
0.9	0.40	70	1944
		80	2222
		90	2500
0.9	0.45	70	1728
		80	1975
		90	2222
1	0.35	70	2000
		80	2286
		90	2571
1	0.40	70	1750
		80	2000
		90	2250
1	0.45	70	1556
		80	1778
		90	2000

Fuente: (Porras y Herrera, 2015)

2.2.5 Trichoderma

Las especies se distinguen por su rápido crecimiento micelial y alta capacidad de producción de esporas, lo que les permite colonizar diversos sustratos y suelos con facilidad. Se comportan como organismos saprófitos o parásitos y son habitantes naturales del suelo, ya que se desarrollan en condiciones anaeróbicas (Cortés et al., 2023).

El éxito de estas cepas como agentes de control biológico radica en su eficiencia para absorber nutrientes, su elevada capacidad reproductiva, su habilidad para modificar la rizosfera, su resistencia a condiciones ambientales adversas, su eficacia en el combate contra hongos fitopatógenos y su capacidad para estimular el crecimiento vegetal y activar mecanismos de defensa en las plantas (Intagri, 2016). Dado que los trichodermas no actúan eficazmente en suelos con menos del 2% de materia orgánica —una condición común en los suelos actuales—, su uso como inoculante se ha incrementado. Esto permite fortalecer las plantas mediante cepas adaptadas a suelos degradados y con condiciones cada vez más exigentes (Mula, 2020).

2.2.5.1 Trichodermas de mayor importancia

Entre las especies de *Trichoderma* más utilizadas en la agricultura moderna se destacan *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* y *T. hamatum*, debido a su alta eficacia y

frecuencia de uso, alcanzando concentraciones de hasta 5×10^{11} unidades formadoras de colonias por litro de producto (Intagri, 2016).

2.2.5.2 Mecanismos de acción

Las distintas especies de *Trichoderma* ejercen mecanismos de control por medio de: Producción de metabolitos antibióticos, producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal y por mico parasitismo, modificación de las condiciones ambientales, competencia directa (por espacio y nutrientes) y la inactivación de enzimas del agente patógeno (Intagri, 2016).

2.2.5.3 Función en la planta

Según Mula (2020), las especies de *Trichoderma* cumplen diversas funciones beneficiosas en las plantas:

- Secretan enzimas y antibióticos que degradan la pared celular de hongos patógenos, contribuyendo a su control.
- Actúan como parásitos de otros hongos, eliminando sus hifas mediante micoparasitismo.
- Son eficaces en aplicaciones foliares, ya que inducen resistencia adquirida en las plantas.
- Favorecen la formación de suelos supresivos, lo que impide el desarrollo de hongos patógenos.
- Estimulan indirectamente el crecimiento radicular, mejorando la capacidad de absorción de nutrientes por parte de la planta.

2.2.5.4 TrichoSym Bio: *Trichoderma harzianum* T78

La cepa *Trichoderma harzianum* T78 actúa como un inoculante multifuncional que establece una interacción beneficiosa con las plantas. Dependiendo de su forma de acción, puede clasificarse dentro de tres grupos microbianos: simbióticos, asociativos y rizosféricos o de vida libre. En este caso, los microorganismos y las raíces coexisten en una relación de mutua cooperación (Symborg, 2022).

El producto TrichoSym Bio, basado en esta cepa, estimula el desarrollo vegetativo de las plantas mediante varios mecanismos:

- Favorece la formación de raíces laterales a través de su asociación con el sistema radicular.
- Mejora las interacciones microbiológicas en la rizosfera.
- Incrementa la tolerancia de las plantas frente a condiciones de estrés.
- Promueve la germinación de semillas, el crecimiento vegetativo y la productividad general del cultivo (Symborg, 2022).

Aplicar *Trichoderma harzianum* en el suelo antes o al momento de la siembra afectará significativamente en la sanidad y calidad de los tubérculos semilla. Este es un hongo bio-regulador previniendo al cultivo de ser afectado por enfermedades fúngicas. Además, tiene una alta velocidad de colonización por lo que es capaz de establecerse en el suelo de manera rápida actuando en el cultivo desde el inicio mejorando su desarrollo, productividad y rendimiento. Este tipo de Trichoderma toma del suelo los nutrientes de los hongos que degrada y del material orgánico ayudando a descomponerlo para incorporarlo en el suelo (Velásquez et al., 2021).



Figura 1. TrichoSym Bio
Fuente: (Symborg, 2022)

Tabla 6. Clasificación Taxonómica de *Trichoderma harzianum*

Categoría	Nombre
Reino:	Fungí
División:	Ascomycota
Subdivisión:	Pezizomycetes
Clase:	Sordariomycetes
Orden:	Hypocreales
Familia:	Hypocreaceae
Género:	<i>Trichoderma</i>
Especie:	<i>harzianum</i>

Fuente: (Fernández, 2016)

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

Se adoptó un enfoque cuantitativo, en el cual se analizaron variables numéricas como la altura de las plantas, el grosor del tallo, la cantidad de tallos, las categorías de los tubérculos semilla, el rendimiento y la relación costo-beneficio.

3.1.2. Tipo de Investigación

Experimental: se llevó a cabo un experimento utilizando un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial 5 x 2, conformado por 10 tratamientos y 4 repeticiones, sumando un total de 40 unidades experimentales distribuidas aleatoriamente. El tamaño de la parcela neta varió entre 7 y 13 plantas, dependiendo de la densidad de siembra. Una vez concluida la fase experimental y recopilados los datos, se procedió a realizar un análisis estadístico con el fin de validar o rechazar la hipótesis planteada.

3.2. HIPÓTESIS

Ho: Las diferentes densidades de siembra y la aplicación de *Trichoderma harzianum* no tienen un efecto significativo en la producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro en el Centro Experimental San Francisco – UPEC.

Ha: Las diferentes densidades de siembra y la aplicación de *Trichoderma harzianum* tienen un efecto significativo en la producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro en el Centro Experimental San Francisco – UPEC.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable Independiente:

- Densidades de siembra: (15x90, 25x90, 35x90, 25x100 y 30x120 cm)
- Uso de *Trichoderma harzianum*

Variable dependiente:

- Desarrollo fenológico del cultivo de papa
- Incidencia de *Spongospora subterranea*
- Rendimiento del cultivo
- Rendimiento del tubérculo semilla
- Análisis costo/beneficio

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 7. Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnicas	Instrumento
INDEPENDIENTE: Densidades de siembra	Densidad 1	(15 x 90) cm	Depositar las semillas en el surco con las densidades establecidas	Flexómetro
	Densidad 2	(25 x 90) cm		
	Densidad 3	(35 x 90) cm		
	Densidad 4	(25 x 100) cm		
	Densidad 5	(30 x 120) cm		
Uso de TrichoSym Bio	<i>Trichoderma harzianum</i>	Dosis de 4cc/L de agua Frecuencia: Aplicación en la siembra	Aplicación en drench con bomba de fumigar a cada planta	Bomba de fumigar
	Altura de planta	En cm a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Desde la base hasta el ápice del tallo principal	Flexómetro Libreta de campo
	Diámetro de tallo	En mm a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Medición en la parte basal del tallo.	Calibrador pie de rey Libreta de campo
	Número de tallos	Número a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Conteo manual de cada tallo en las plantas de la parcela neta	Libreta de campo
	Número de tubérculos	Número al tiempo de cosecha	Conteo manual de tubérculos del total de plantas de la parcela neta	Libreta de campo
	DEPENDIENTE: Desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo	Clasificación por categorías	En g al tiempo de cosecha Primera Más de 120 g Segunda de 80 g a 119 g Tercera de 50 g a 79 g Cuarta Menos de 50 g (Porras y Herrera, 2015)	Se clasifico y pesó los tubérculos de todas las plantas de la parcela neta
Clasificación por categorías tubérculo semilla		En g al tiempo de cosecha Primera 100 g Segunda 40 g a 99 g Tercera Menor a 40 g (Pumisacho y Velásquez 2009)	Se clasifico y pesó los tubérculos de todas las plantas de la parcela neta	Balanza Libreta de campo
Rendimiento		En kg al tiempo de cosecha	Se pesó los tubérculos de todas las plantas de la unidad experimental	Balanza Libreta de campo
Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i>		Porcentaje de incidencia en tubérculo al momento de la cosecha	Aplicar la siguiente fórmula	Computadora

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Número de tubérculos por planta con síntomas}}{\text{Número total de tubérculos por planta}} \times 100$$

(Restrepo et al., 2009)

Costo Beneficio En USD Después de la cosecha

Se realizó el análisis costo beneficio de cada tratamiento

Computadora

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el Centro Experimental San Francisco, perteneciente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, situado en la localidad de Huaca, Ecuador. Este centro se encuentra a una altitud de 2959 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por un clima frío, con una temperatura media de 10 °C, una precipitación anual de 1100 mm y una humedad relativa del 76%. Los suelos predominantes son franco-arenosos y franco-limosos, con buena capacidad de retención hídrica y adecuado drenaje, lo que los hace aptos para el cultivo de papa, maíz, fréjol y diversas hortalizas. Además, su topografía ondulada y con pendientes moderadas lo convierte en un entorno favorable para la investigación agrícola y la promoción de prácticas sostenibles (Peña, 2012).

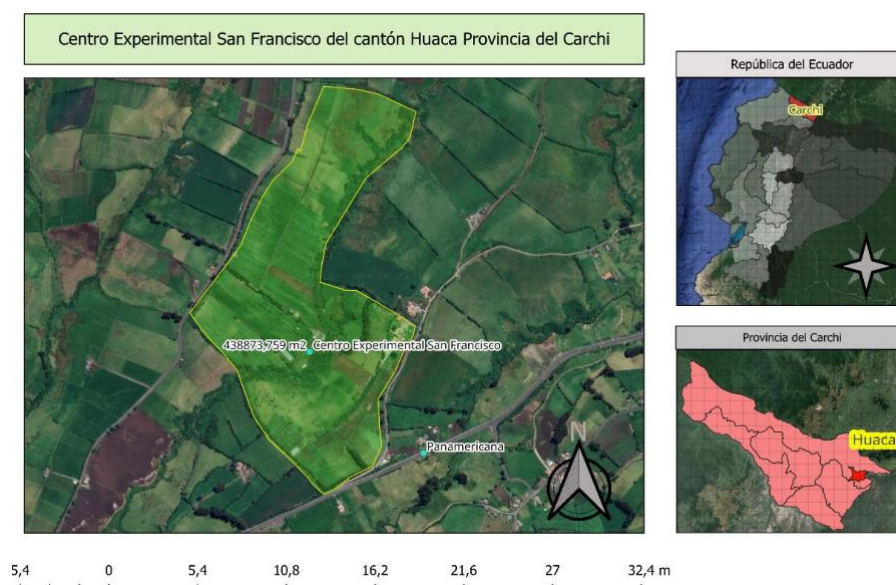


Figura 2. Ubicación del experimento

Fuente: (Peña, 2012)

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación contempló un total de 10 tratamientos, los cuales se describen detalladamente a continuación.

Tabla 8. Tratamientos de estudio

Tratamientos	Factor 1	Factor 2	Frecuencia de aplicación
	Densidad de siembra	Fungicidas	
T1	(15 x 90) cm	Trichoderma h. 4cc/l agua	Una, en la siembra
T2	(25 x 90) cm	Trichoderma h. 4cc/l agua	
T3	(35 x 90) cm	Trichoderma h. 4cc/l agua	
T4	(25 x 100) cm	Trichoderma h. 4cc/l agua	
T5	(30 x 120) cm	Trichoderma h. 4cc/l agua	
T6	(15 x 90) cm	Tiabendazol (1 cc/l agua)	
T7	(25 x 90) cm	Tiabendazol (1 cc/l agua)	
T8	(35 x 90) cm	Tiabendazol (1 cc/l agua)	
T9	(25 x 100) cm	Tiabendazol (1 cc/l agua)	
T10	(30 x 120) cm	Tiabendazol (1 cc/l agua)	

3.4.3. Características del diseño experimental

En la investigación se empleó un diseño de bloque completamente al azar con un arreglo factorial 5 x 2, con 10 tratamientos, 4 repeticiones con un total de 40 unidades experimentales, de las cuales se evaluó diferentes números de plantas que corresponden a la parcela neta, cada unidad experimental midió 20 m².

Tabla 9. Características del experimento

DBCA con arreglo factorial 5x2		Dimensiones
Tratamientos		10
Repeticiones		4
Unidades experimentales		40
Área unidad experimental		20 m ² (5 m * 4 m)
Área total del experimento		1364 m ²
Densidad de siembra	Plantas por unidad experimental	Plantas por parcela neta
(15 x 90) cm	133	13
(25 x 90) cm	88	8
(35 x 90) cm	57	6
(25 x 100) cm	80	8
(30 x 120) cm	67	7
Plantas totales del experimento		3400

3.4.4. Distribución y características del experimento

El diseño experimental empleado fue un bloque completamente al azar con un arreglo factorial de 5 x 2. El estudio se llevó a cabo en un área total de 1364 m², distribuidos en 10 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, sumando 40 unidades experimentales. Cada parcela medía 5 x 4 metros (20 m²), con una separación de 1 metro entre unidades experimentales y 2 metros entre bloques.

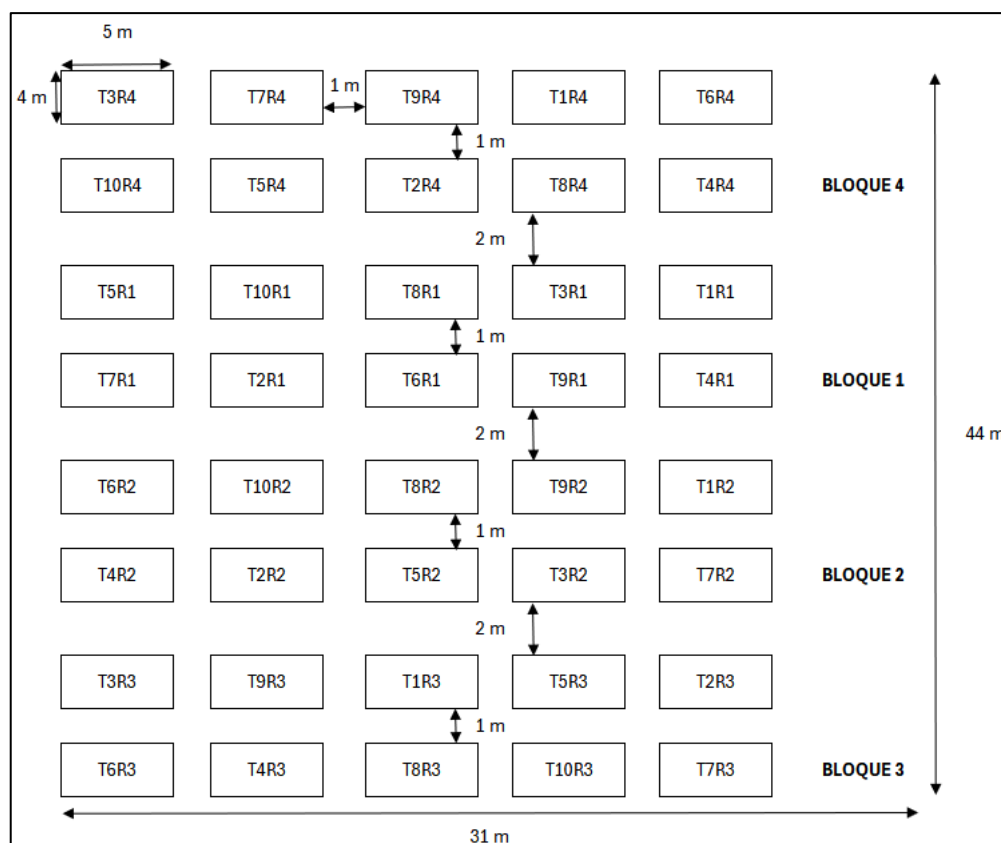


Figura 3. Distribución del ensayo

3.4.5. Población y muestra de la investigación

El experimento se estructuró con un total de 40 unidades experimentales, distribuidas en 10 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. La muestra estuvo conformada por la parcela neta, es decir, se seleccionaron plantas ubicadas en el centro de cada unidad experimental para la evaluación de las variables de estudio.

A continuación, se detalla la densidad de siembra utilizada, junto con el número de plantas por unidad experimental y por parcela neta:

Tabla 10. Número de plantas por unidad experimental y por parcela neta

Densidad de siembra	Plantas por unidad experimental	Plantas por parcela neta
(15 x 90) cm	133	13
(25 x 90) cm	88	8
(35 x 90) cm	57	6
(25 x 100) cm	80	8
(30 x 120) cm	67	7

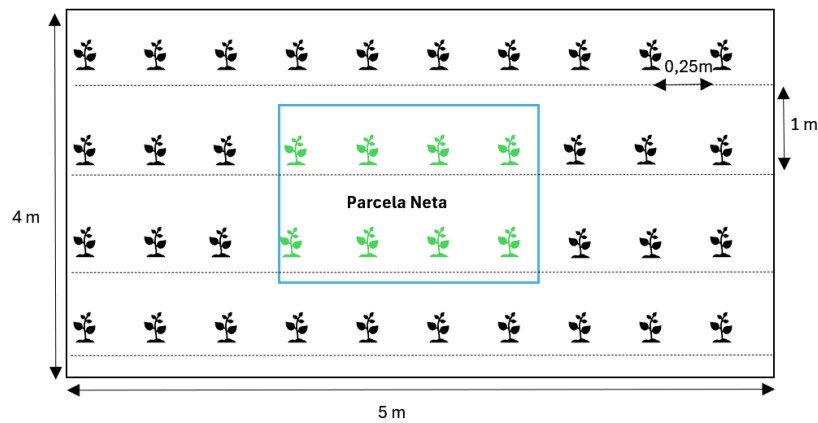


Figura 4. Parcela neta

3.4.6. Procedimientos

1. Análisis de suelo

Se recolectó una muestra de suelo del área experimental y se envió al laboratorio LABONORT, ubicado en la ciudad de Ibarra, para realizar un análisis físico-químico. Este análisis permitió determinar características clave del suelo, como textura, estructura, pH y niveles de nutrientes. Con base en estos resultados, se calcularon las dosis de fertilización edáfica, ajustándolas a las necesidades específicas del cultivo.

2. Preparación del terreno

El terreno fue acondicionado utilizando maquinaria agrícola, específicamente arado y rastra, con el objetivo de obtener un suelo suelto y favorable para el desarrollo del cultivo.

3. Trazado del experimento

El ensayo se llevó a cabo a campo abierto en el Centro Experimental San Francisco, en un lote de 1364 m². Se establecieron 40 unidades experimentales, correspondientes a 10 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Cada parcela midió 5 x 4 metros (20 m²). Para delimitar los tratamientos se utilizaron estacas y piola, dejando pasillos de 1 metro entre unidades experimentales y 2 metros entre bloques.

4. Siembra

La siembra se realizó colocando una semilla de peso entre 60 a 70 g por golpe, respetando las densidades establecidas para cada tratamiento. Las semillas fueron tratadas con Tiabendazol y *Trichoderma harzianum*, según lo requerido por cada

tratamiento, y luego cubiertas adecuadamente. En total, se utilizaron 200 kg de semilla para las 40 unidades experimentales.

5. Fertilización

La fertilización edáfica se aplicó en dos momentos: la primera a los 21 días después de la siembra, utilizando la fórmula 18-46-0, aplicada en chorro continuo sobre los surcos; y la segunda a los 42 días, con la fórmula 8-20-20.

6. Aplicación de Trichoderma

Durante la siembra, se aplicó *Trichoderma harzianum* como tratamiento de desinfección de semillas, utilizando una dosis de 4 cc por litro de agua.

3.4.7. Variables evaluadas

3.4.7.1. Altura de planta

Se midió en centímetros utilizando un flexómetro, desde la base hasta el ápice del tallo principal. Las mediciones se realizaron cada 15 días, desde el día 30 hasta el día 105 después de la siembra.

3.4.7.2. Diámetro del tallo

Se utilizó un calibrador tipo pie de rey para medir el diámetro en milímetros en la base del tallo. Las mediciones se efectuaron con la misma frecuencia y periodo que la altura de planta.

3.4.7.3. Número de tallos

Se realizó un conteo manual de los tallos por planta, con una frecuencia de 15 días, desde el día 30 hasta el día 105 después de la siembra

3.4.7.4. Número de tubérculos

Se contabilizaron manualmente los tubérculos cosechados por planta dentro de la parcela neta. Esta evaluación se realizó el día de la cosecha.

3.4.7.5. Clasificación por categorías

Los tubérculos recolectados de la parcela neta fueron clasificados manualmente y pesados en gramos con una balanza. Se agruparon en las siguientes categorías:

De acuerdo con Porras y Herrera (2015) Categorías comerciales:

- Categoría 1: > 120 g

- Categoría 2: 80 – 120 g
- Categoría 3: 50 – 80 g
- Categoría 4: < 50 g

De acuerdo con Pumisacho y Velásquez (2009), Categorías para tubérculo semilla:

- Categoría 1: 100 – 120 g
- Categoría 2: 40 – 99 g
- Categoría 3: 25 – 39 g

3.4.7.6. Peso parcela neta

Se pesaron en kilogramos los tubérculos cosechados de cada planta dentro de la parcela neta, utilizando una balanza. Esta medición se realizó el día de la cosecha.

3.4.7.7. Rendimiento

Se determinó el rendimiento total por unidad experimental, pesando en kilogramos todos los tubérculos cosechados. Esta evaluación también se realizó el día de la cosecha.

3.4.7.8. Incidencia de *Spongospora subterranea*

De acuerdo con Restrepo et al. (2009), la incidencia de *Spongospora subterranea* se determina en los tubérculos de aquellas plantas que presentan síntomas visibles en las raíces. Para ello, se evalúa cada tubérculo de manera visual, registrando la presencia o ausencia de síntomas característicos, como lesiones o pústulas (ver Figura 5). Se considera afectado todo tubérculo que muestre signos compatibles con la enfermedad. La incidencia se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de tubérculos por planta con síntomas}}{\text{Número total de tubérculos por planta}} \times 100$$

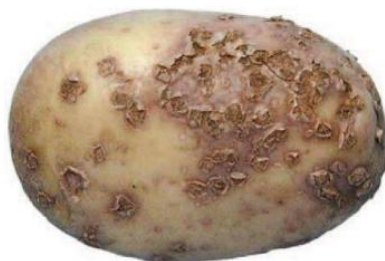


Figura 5. Tubérculo de papa afectado por *Spongospora* sp.

3.4.7.9. Análisis costo - beneficio

Se efectuó un análisis económico expresado en dólares (USD), basado en el rendimiento por hectárea. Se consideraron los ingresos por la venta del producto y los costos asociados a cada tratamiento. Este análisis se realizó al finalizar el experimento, permitiendo evaluar la rentabilidad de cada alternativa.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento se estructuró bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial 5 x 2, conformado por 10 tratamientos y 4 repeticiones, lo que resultó en un total de 40 unidades experimentales. El análisis estadístico se realizó utilizando el software R Studio. Para cada variable evaluada, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett. En los casos en que se cumplieron estos supuestos, se procedió a aplicar un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de detectar diferencias significativas entre bloques, factores y su interacción. Posteriormente, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de significancia para identificar diferencias entre tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Altura de planta

El análisis de varianza realizado para evaluar la altura de las plantas desde los 30 hasta los 105 días después de la siembra (Tabla 11) reveló diferencias estadísticamente significativas entre bloques en las mediciones correspondientes a los días 45, 60, 75 y 105 ($p < 0.05$), lo que sugiere variabilidad entre repeticiones. En cuanto a la densidad de siembra, se observaron efectos significativos en las alturas registradas a los 60, 75 y 90 días, indicando que este factor influyó en el crecimiento de las plantas en esas etapas. Por otro lado, el uso de Trichoderma y su interacción con la densidad de siembra no mostraron efectos significativos en ninguna de las fechas evaluadas. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 15%, reflejan una alta precisión experimental. Además, se observó un crecimiento progresivo en la altura promedio de las plantas a lo largo del tiempo, alcanzando un máximo de 89,74 cm a los 105 días después de la siembra.

Tabla 11. Análisis de varianza para la altura de planta (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Altura 5	Altura 6
		(30 dds)	(45 dds)	(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor					
Bloque	3	0.159	0.00182 **	0.00904 **	0.02542 *	0.1540	0.00998 **
Uso Trichoderma	1	0.481	0.56156	0.69657	0.37966	0.2761	0.69171
Densidad siembra	4	0.918	0.65324	0.00477 **	0.00639 **	0.0183 *	0.52347
Densidad * Trichoderma	4	0.348	0.32602	0.41311	0.42408	0.3023	0.64869
Error	27						
Total	39						
Media (cm)		21.81	29.37	51.74	61.67	71.60	89.74
CV (%)		13.47	12.97	9.10	7.24	7.67	9.50

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1. ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5% permitió identificar diferencias significativas entre las densidades de siembra en cuanto a la altura de planta a los 60, 75 y 90 días después de la siembra (Tabla 12). A los 60 días, la densidad 30x120 cm presentó la menor altura

(45,36 cm), ubicándose en un grupo estadísticamente distinto (b), mientras que las demás densidades se agruparon en el grupo a. Esta tendencia se mantuvo a los 75 días, donde 30x120 cm nuevamente mostró la menor altura (55,85 cm), permaneciendo en el grupo b, mientras que las otras densidades se distribuyeron entre los grupos a y ab. A los 90 días, 30x120 cm continuó siendo la densidad con menor altura (66,34 cm), mientras que la densidad 15x90 cm alcanzó la mayor altura promedio (75,42 cm), destacándose en el grupo a. En general, se observó que la densidad 30x120 cm resultó en plantas consistentemente más bajas, mientras que densidades más estrechas como 15x90 cm favorecieron un mayor crecimiento en altura, lo que sugiere que una mayor densidad de siembra podría estar asociada con una mayor competencia por luz, estimulando así el alargamiento de las plantas

Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (60, 75 y 90 días)

Densidad de siembra	Altura 3 (60 dds)		Altura 4 (75 dds)		Altura 5 (90 dds)	
	Media (cm)	Grupos	Media (cm)	Grupos	Media (cm)	Grupos
15x90	52,72	a	64,97	a	75,42	a
25x90	53,9	a	63,49	a	73,08	ab
25x100	52,49	a	63,12	a	73,76	ab
30x120	45,36	b	55,85	b	66,34	b
35x90	54,9	a	61,8	ab	69,37	ab

4.1.2. Diámetro de tallo

El análisis de varianza realizado para evaluar el diámetro del tallo desde los 30 hasta los 105 días después de la siembra (Tabla 13) reveló diferencias estadísticamente significativas entre bloques en las mediciones correspondientes a los 30 y 75 días ($p < 0.05$), lo que sugiere variabilidad entre repeticiones en esas fechas. En contraste, ni la densidad de siembra, ni el uso de Trichoderma, ni su interacción mostraron efectos significativos en ninguna de las fechas evaluadas. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 15%, indican una alta precisión experimental. Además, se observó un incremento progresivo en el diámetro promedio del tallo a lo largo del tiempo, alcanzando un valor máximo de 11,43 mm a los 105 días después de la siembra.

Tabla 13. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3	Diámetro 4	Diámetro 5	Diámetro 6
		(30 dds)	(45 dds)	(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor					
Bloque	3	0.0034 **	0.0894	0.0891	0.0467 *	0.116	0.0766
Uso Trichoderma	1	0.3312	0.1724	0.6420	0.9945	0.876	0.5503
Densidad siembra	4	0.9591	0.6082	0.0857	0.3380	0.803	0.5859
Densidad * Trichoderma	4	0.9447	0.2006	0.6245	0.5840	0.428	0.4472

Error	27						
Total	39						
Media (mm)		7.04	7.80	9.21	9.79	10.36	11.43
CV (%)		13.72	10.02	8.86	9.24	13.71	9.69

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

4.1.3. Número de tallos

El análisis de varianza aplicado para evaluar el número de tallos por planta desde los 30 hasta los 105 días después de la siembra (Tabla 14) mostró diferencias estadísticamente significativas entre bloques únicamente a los 60 días ($p < 0.05$), lo que sugiere variabilidad entre repeticiones en esa fecha específica. En contraste, ni la densidad de siembra, ni el uso de Trichoderma, ni su interacción presentaron efectos significativos en ninguna de las fechas evaluadas. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 30%, indican una buena precisión experimental. Además, se observó un incremento progresivo en el número promedio de tallos a lo largo del tiempo, alcanzando un máximo de 7,8 tallos por planta a los 90 y 105 días después de la siembra.

Tabla 14. Análisis de varianza para el número de tallos (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	# tallos 1	# tallos 2	# tallos 3	# tallos 4	# tallos 5	# tallos 6
		(30 dds)	(45 dds)	(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor					
Bloque	3	0.463	0.995	0.0127 *	0.2153	0.679	0.679
Uso Trichoderma	1	0.222	0.640	0.6951	0.6934	1.000	1.000
Densidad siembra	4	0.673	0.843	0.434	0.437	0.243	0.243
Densidad * Trichoderma	4	0.509	0.327	0.4049	0.3134	0.674	0.674
Error	27						
Total	39						
Media (#)		2.97	3.42	3.75	5.7	7.8	7.8
CV (%)		29.7	29.2	21.28	13.92	16.71	16.71

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

4.1.4. Número de tubérculos

El análisis de varianza realizado para evaluar el número de tubérculos por categorías (Tabla 15) mostró diferencias estadísticamente significativas en la categoría 1 (tubérculos de mayor peso), tanto para el factor densidad de siembra como para su interacción con el uso de Trichoderma ($p < 0.05$). Aunque el efecto del uso de Trichoderma por sí solo no fue significativo ($p > 0.05$), su cercanía al umbral sugiere una posible tendencia positiva. En contraste, no se observaron efectos significativos entre bloques, ni para los demás factores en las otras categorías ni en el total de tubérculos. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 15%, indican una adecuada precisión experimental. En promedio, se obtuvo un total de 27,93

tubérculos por planta, siendo la categoría 1 la que más contribuyó con 10,20 tubérculos, lo que resalta la importancia de una adecuada densidad de siembra y su combinación con *Trichoderma* para mejorar la producción de tubérculos de mayor calibre.

Tabla 15. Análisis de varianza para el número de tubérculos por categorías

F.v	GL	Categoría 1 Categoría 2 Categoría 3 Categoría 4				Total, Categorías
		p valor				
Bloque	3	0.630130	0.121	0.211	0.578	0.0662
Uso <i>Trichoderma</i>	1	0.057171	0.252	0.292	0.861	0.4752
Densidad siembra	4	0.000144 ***	0.897	0.769	0.851	0.9098
Densidad *	4	0.034545 *	0.931	0.629	0.851	0.9288
Trichoderma	4					
Error	27					
Total	39					
Media (#)		10.20	4.77	5.30	7.65	27.93
CV (%)		14.04	11.13	13.27	14.93	13.65

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% (Tabla 16) evidenció que el tratamiento T5 (densidad 30 x 120 cm con uso de *Trichoderma*) obtuvo el mayor número promedio de tubérculos en la categoría 1, con 13,50 tubérculos por planta, ubicándose de forma consistente en el grupo estadístico 'a'. En contraste, los demás tratamientos presentaron promedios significativamente menores, agrupándose en los grupos 'ab' y 'b', lo que indica diferencias estadísticas claras. Estos resultados destacan la eficacia del uso de *Trichoderma*, especialmente en combinación con una densidad de siembra menor, para incrementar la producción de tubérculos de mayor calibre.

Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos categoría 1

Tratamientos		Número de tubérculos Cat. 1	
		Media (#)	Grupos
T5	30X120:Trychod	13.50	a
T10	30X120:Thbzl	11.50	ab
T2	25X90:Trychod	10.50	ab
T3	35X90:Trychod	10.50	ab
T8	35X90:Thbzl	10.25	ab
T4	25X100:Trychod	10.00	b
T7	25X90:Thbzl	9.75	b
T9	25X100:Thbzl	9.00	b
T1	15X90:Trychod	8.75	b
T6	15X90:Thbzl	8.25	b

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (Thbzl).

4.1.5. Rendimiento parcela neta

El análisis de varianza para el rendimiento de parcela neta por categorías (Tabla 17) reveló diferencias estadísticamente significativas en la categoría 1, tanto para el factor densidad de siembra como para su interacción con el uso de *Trichoderma* ($p < 0.05$). Además, se observaron diferencias significativas en el rendimiento total para el factor uso de *Trichoderma* ($p < 0.05$), lo que indica su efecto positivo en la productividad general. En contraste, no se detectaron efectos significativos entre bloques, ni para los demás factores en las categorías 2, 3 y 4. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 20%, indican una buena precisión experimental. En promedio, se obtuvo un rendimiento total de 2,89 kg por planta, siendo la categoría 1 la que más contribuyó con 1,91 kg, lo que subraya la importancia de una adecuada densidad de siembra y del uso de *Trichoderma* para mejorar la producción de tubérculos de mayor peso.

Tabla 17. Análisis de varianza para el rendimiento de parcela neta

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total, Categorías
Bloque	3	0.85674	0.1161	0.143	0.486	0.72351
Uso <i>Trichoderma</i>	1	0.18563	0.0407 *	0.366	0.894	0.22744
Densidad siembra	4	0.00701 **	0.1966	0.682	0.776	0.00052 ***
Densidad *	4	0.04532 *	0.8649	0.501	0.805	0.98249
Error	27					
Total	39					
Media (Kg)		1.91	0.46	0.31	0.20	2.89
CV (%)		17.63	17.71	15.67	16.43	15.98

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1. ' ' 1.

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% (Tabla 18) mostró que el tratamiento T5 (densidad 30 x 120 cm con uso de *Trichoderma*) alcanzó el mayor rendimiento promedio en la categoría 1, con 2,60 kg por planta, ubicándose de forma consistente en el grupo estadístico 'a'. En contraste, los demás tratamientos registraron rendimientos significativamente menores, distribuyéndose en los grupos estadísticos 'ab', 'abc', 'bc' y 'c', lo que refleja diferencias estadísticas claras entre ellos. Estos resultados subrayan la eficacia del uso de *Trichoderma*, especialmente cuando se combina con una densidad de siembra más amplia, para incrementar la producción de tubérculos de mayor calibre. Asimismo, se observa que densidades más estrechas tienden a reducir el rendimiento, posiblemente debido a una mayor competencia entre plantas por recursos como luz, agua y nutrientes.

Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de parcela neta Cat. 1

Tratamientos	Rendimiento Cat. 1		
	Media (Kg)	Grupos	
T5	30X120:Trychod	2,60	a
T10	30X120:Thbzl	2,48	ab
T3	35X90:Trychod	2,04	abc
T8	35X90:Thbzl	2,01	abc
T2	25X90:Trychod	1,77	bc
T4	25X100:Trychod	1,75	bc
T7	25X90:Thbzl	1,74	bc
T9	25X100:Thbzl	1,70	bc
T6	15X90:Thbzl	1,57	c
T1	15X90:Trychod	1,49	c

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (Thbzl).

La prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de parcela neta en la categoría 2 (Tabla 19) mostró que el uso de *Trichoderma harzianum* alcanzó un rendimiento promedio significativamente superior (0,508 kg por planta) en comparación con Tiabendazol (0,429 kg por planta), ubicándose en los grupos estadísticos 'a' y 'b', respectivamente. Esta diferencia evidencia que el uso de *Trichoderma harzianum* tiene un efecto positivo en la producción de tubérculos medianos, superando en eficacia al producto químico. Estos resultados evidencian que el uso de *Trichoderma harzianum* no solo mejora el rendimiento en la categoría de tubérculos de mayor peso (categoría 1), sino que también tiene un efecto positivo en la producción de tubérculos medianos (categoría 2), superando significativamente al Tiabendazol.

Tabla 19. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de parcela neta Cat. 2. Factor Uso de Trichoderma

Uso de <i>Trichoderma harzianum</i>	Rendimiento Cat. 2	
	Media (Kg)	Grupos
<i>Trichoderma harzianum</i>	0,508	a
Tiabendazol	0,429	b

La prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total de parcela neta según diferentes densidades de siembra (Tabla 20) mostró que la densidad 30 x 120 cm obtuvo el mayor rendimiento promedio con 3,60 kg por planta, ubicándose en el grupo estadístico 'a', lo que indica que fue significativamente superior al resto de las densidades evaluadas. La densidad 35 x 90 cm alcanzó un rendimiento intermedio (3,03 kg), clasificándose en el grupo 'ab', sin diferencias significativas con 30 x 120 cm, pero sí con las densidades más bajas. Por otro lado, las densidades 25 x 90 cm, 25 x

100 cm y 15 x 90 cm presentaron los rendimientos más bajos (entre 2,57 y 2,69 kg), agrupándose en el grupo 'b', lo que indica que no difieren entre sí, pero sí son estadísticamente inferiores al tratamiento con mayor espaciamiento. Se evidencia que una densidad de siembra más amplia (30 x 120 cm) favorece un mayor rendimiento total por planta, posiblemente debido a una menor competencia entre plantas, lo que permite un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total de parcela neta. Factor Densidad de siembra

Densidad de siembra	Rendimiento total	
	Media (Kg)	Grupos
30X120	3,60	a
35X90	3,03	ab
25X90	2,69	b
25X100	2,61	b
15X90	2,57	b

4.1.6. Peso de tubérculo por categoría

El análisis de varianza para el peso de tubérculo por categoría (Tabla 21) mostró que el factor densidad de siembra tuvo un efecto significativo únicamente en la categoría 2 ($p < 0.05$), con un peso promedio de 95,49 g, lo que indica que este factor influyó en el tamaño de los tubérculos medianos. En las demás categorías no se observaron diferencias estadísticas atribuibles a los factores evaluados ni a sus interacciones. En la categoría 3, el único efecto significativo fue el del bloque ($p < 0.05$), lo que sugiere variaciones entre repeticiones posiblemente debidas a condiciones ambientales. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 15%, indican una buena precisión experimental. Estos resultados destacan que la densidad de siembra puede influir positivamente en el peso de tubérculos medianos, aunque no se observaron efectos significativos del uso de Trichoderma en ninguna de las categorías.

Tabla 21. Análisis de varianza para el peso de tubérculo por categoría

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3		Categoría 4	
				p valor			
Bloque	3	0.839	0.4996	0.000166 ***	0.991		
Uso Trichoderma	1	0.171	0.5227	0.24435	0.749		
Densidad siembra	4	0.205	0.0183 *	0.41313	0.799		
Densidad *	4	0.943	0.0711	0.12769	0.984		
Trichoderma	4						
Error	27						
Total	39						
Media (g)		187.1	95.49	59.47	27.14		
CV (%)		14.34	7.77	10.73	14.83		

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5% para el peso de tubérculo, (Tabla 22), evidenció que la densidad de siembra 30 x 120 cm obtuvo el mayor peso promedio de tubérculo (101,96 g), ubicándose en el grupo estadístico 'a', lo que indica una diferencia significativa respecto a la densidad 25 x 100 cm (88,11 g), que se ubicó en el grupo 'b'. Las demás densidades (25 x 90 cm, 35 x 90 cm y 15 x 90 cm) presentaron valores intermedios (entre 95,12 y 96,92 g) y se agruparon en el grupo 'ab', sin diferencias significativas con los extremos. En conjunto, estos resultados sugieren que una mayor distancia entre plantas favorece un mayor peso individual de tubérculo, posiblemente debido a una menor competencia por recursos como luz, agua y nutrientes.

Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el peso de tubérculo Cat. 2. Factor Densidad de siembra

Densidad de siembra	Peso de tubérculo Cat. 2	
	Media (g)	Grupos
30X120	101,96	a
25X90	96,92	ab
35X90	95,33	ab
15X90	95,12	ab
25X100	88,11	b

4.1.7. Número de tubérculos semilla

El análisis de varianza realizado para evaluar el número de tubérculos semilla por categorías (Tabla 23) mostró que el único factor con efecto estadísticamente significativo fue la densidad de siembra en la categoría 1 ($p < 0.05$), lo que indica que este factor influyó en la cantidad de tubérculos semilla de mayor tamaño. En contraste, no se observaron efectos significativos del uso de Trichoderma, ni de su interacción con la densidad, ni del bloque en ninguna de las categorías evaluadas.

Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 20%, reflejan una buena precisión experimental. En promedio, el total de tubérculos semilla por planta fue de 20,12, siendo la categoría 2 la segunda en contribución (8,22 tubérculos), mientras que la categoría 1 presentó el menor promedio (5,1 tubérculos), lo que sugiere que la mayoría de los tubérculos semilla se concentraron en los calibres más pequeños.

Tabla 23. Análisis de varianza para el número de tubérculos semilla por categorías

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Total, Categorías
		p valor			
Bloque	3	0.365	0.846	0.598	0.419
Uso Trichoderma	1	0.399	0.310	0.641	0.596
Densidad siembra	4	6.49e-05 ***	0.750	0.389	0.401
Densidad *	4				
Trichoderma	4	0.996	0.750	0.659	0.753
Error	27				
Total	39				
Media (#)		5.1	8.22	6.77	20.12
CV (%)		14.46	17.87	14.58	19.02

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos semilla en la categoría 1, según diferentes densidades de siembra (Tabla 24) mostró que la densidad 25 x 90 cm obtuvo el mayor número promedio de tubérculos semilla (6,13 por planta), ubicándose en el grupo estadístico 'a', lo que indica que fue significativamente superior a las densidades con menor rendimiento. Le sigue la densidad 25 x 100 cm (5,75 tubérculos), en el grupo 'ab', sin diferencias significativas con la anterior ni con las siguientes. Las densidades 15 x 90 cm, 30 x 120 cm y 35 x 90 cm presentaron los valores más bajos (entre 4,38 y 4,88 tubérculos) y se agruparon en los grupos 'bc' y 'c', indicando diferencias estadísticas claras respecto al tratamiento más productivo. En conjunto, estos resultados sugieren que densidades intermedias, como 25 x 90 cm, favorecen una mayor producción de tubérculos semilla de mayor calibre

Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos semilla categoría 1. Factor Densidad de siembra

Densidad de siembra	Número de tubérculos semilla Cat. 1	
	Media (#)	Grupos
25X90	6,12	a
25X100	5,75	ab
15X90	4,88	bc
30X120	4,38	c
35X90	4,38	c

4.1.8. Rendimiento de tubérculo semilla parcela neta

El análisis de varianza para el rendimiento de tubérculos semilla en la parcela neta por categorías (Tabla 25) reveló diferencias estadísticamente significativas en las categorías 1, 2 y en el total de categorías para el factor densidad de siembra ($p < 0.001$) y su interacción con el uso de *Trichoderma* ($p < 0.01$). En cambio, no se detectaron efectos significativos del uso de *Trichoderma* por sí solo, ni del factor bloque, ni en la categoría 3, donde ningún factor mostró significancia estadística ($p > 0.05$). Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 20%, indican una buena precisión experimental. En promedio, se obtuvo un rendimiento total de 1,18 kg por planta, siendo la categoría 1 la que más contribuyó con 0,54 kg, lo que resalta la importancia de una adecuada densidad de siembra y su interacción con *Trichoderma* para mejorar la producción de tubérculos semilla de mayor peso.

Tabla 25. Análisis de varianza para el rendimiento de tubérculo semilla de parcela neta

F.v	GL	Categoría 1 Categoría 2 Categoría 3 Total, Categorías			
		p valor			
Bloque	3	0.807	0.069	0.323	0.107880
Uso <i>Trichoderma</i>	1	0.281	0.363	0.337	0.277055
Densidad siembra	4	1.48e-08 ***	9.44e-06 ***	0.147	0.000199 ***
Densidad * <i>Trichoderma</i>	4	0.0093 **	0.00951 **	0.494	0.007403 **
Error	27				
Total	39				
Media (Kg)		0.54	0.44	0.21	1.18
CV (%)		8.39	15.72	19.57	9.27

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% (Tabla 26) mostró:

En la Categoría 1 que los tratamientos T2 (25x90: *Trichoderma*) y T4 (25x100: *Trichoderma*) destacaron significativamente con los mayores rendimientos (0,66 y 0,63 kg respectivamente), ubicándose en el grupo estadístico "a", lo que indica su superioridad frente al resto; en contraste, tratamientos con densidades más bajas o más altas, como T3, T5, T10 y T8, mostraron rendimientos significativamente menores, lo que resalta la importancia de una densidad de siembra intermedia combinada con el uso de *Trichoderma harzianum* para maximizar la producción de tubérculos de mayor tamaño.

En la Categoría 2, los tratamientos T1 (15x90: *Trichoderma*) y T6 (15x90: Tiabendazol) obtuvieron los mayores rendimientos (0,61 y 0,60 kg respectivamente), ubicándose en

el grupo estadístico "a", lo que indica que fueron significativamente superiores al resto; el tratamiento T2 (25x90: *Trichoderma*) se posicionó en un grupo intermedio ("ab"), mientras que los demás tratamientos, independientemente del producto aplicado o la densidad utilizada, mostraron rendimientos significativamente menores, lo que sugiere que una menor densidad de siembra (15x90) favorece la producción de tubérculos medianos, tanto con *Trichoderma* como con Tiabendazol.

En cuanto al rendimiento total de tubérculo semilla, los tratamientos T4 (25x100: *Trichoderma*) y T2 (25x90: *Trichoderma*) alcanzaron los valores más altos (1,34 y 1,33 kg respectivamente), ubicándose en el grupo estadístico "a", lo que indica que fueron significativamente superiores al resto. Les siguieron en un grupo intermedio ("ab") tratamientos como T9, T7, T6, T1, T10 y T5, que, aunque no difieren significativamente de los mejores, tampoco superan a los de menor rendimiento. Finalmente, T3 y T8 se ubicaron en el grupo "b", con los rendimientos más bajos. Estos resultados confirman que el uso de *Trichoderma harzianum* en densidades intermedias (especialmente 25x90 y 25x100) es altamente efectivo para maximizar el rendimiento total de tubérculo semilla.

Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de tubérculo semilla de parcela neta

Rendimiento Cat. 1			Rendimiento Cat. 2			Rendimiento total		
Tratamientos	Media (Kg)	Grupos	Tratamientos	Media (Kg)	Grupos	Tratamientos	Media (Kg)	Grupos
T2	0,66	a	T1	0,61	a	T4	1,34	a
T4	0,63	a	T6	0,60	a	T2	1,33	a
T9	0,62	ab	T2	0,48	ab	T9	1,26	ab
T7	0,62	ab	T4	0,43	b	T7	1,23	ab
T1	0,52	bc	T7	0,42	b	T6	1,19	ab
T6	0,51	bc	T9	0,42	b	T1	1,18	ab
T3	0,49	c	T5	0,41	b	T10	1,13	ab
T5	0,48	c	T10	0,41	b	T5	1,12	ab
T10	0,47	c	T3	0,40	b	T3	1,04	b
T8	0,47	c	T8	0,37	b	T8	1,03	b

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (Thbzl). Tratamientos: T1 (15X90:Trychod), T2 (25X90:Trychod), T3 (35X90:Trychod), T4 (25X100:Trychod), T5 (30X120:Trychod), T6 (15X90:Thbzl), T7 (25X90:Thbzl), T8 (35X90:Thbzl), T9 (25X100:Thbzl) y T10 (30X120:Thbzl).

4.1.9. Peso de tubérculo semilla por categoría

El análisis de varianza para el peso de tubérculo semilla por categoría (Tabla 27) no mostró diferencias significativas atribuibles a los factores evaluados: uso de *Trichoderma*, densidad de siembra o su interacción, en ninguna de las tres

categorías, lo que indica que el peso individual de los tubérculos se mantuvo constante independientemente del manejo aplicado. En la Categoría 3, se encontraron diferencias significativas entre bloques ($p < 0.05$), posiblemente relacionadas con variaciones ambientales o de manejo entre repeticiones. Los coeficientes de variación (CV), todos inferiores al 20%, reflejan una buena precisión experimental, especialmente en la Categoría 1 (CV = 9.46%).

Tabla 27. Análisis de varianza para el peso de tubérculo semilla por categoría

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
		p valor		
Bloque	3	0.320	0.929	0.0117 *
Uso Trichoderma	1	0.613	0.865	0.3974
Densidad siembra	4	0.814	0.226	0.1306
Densidad * Trichoderma	4	0.911	0.709	0.2376
Error	27			
Total	39			
Media (g)		108.56	58.17	31.19
CV (%)		9.46	16.37	17.34

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

4.1.10. Rendimiento

El análisis de varianza (Tabla 28) mostró que la densidad de siembra fue el único factor con efecto altamente significativo sobre el rendimiento total del cultivo ($p < 0.05$), lo que indica que este factor influye de manera determinante en la productividad general. En contraste, ni el uso de *Trichoderma harzianum* ni su interacción con la densidad mostraron efectos significativos. La media obtenida fue de 52.563 kg/ha, con un coeficiente de variación (CV) del 6.11%, lo que refleja una excelente precisión experimental. En cuanto al rendimiento de tubérculo semilla, tanto la densidad de siembra como su interacción con *Trichoderma* ($p < 0.05$) presentaron efectos estadísticamente significativos, lo que indica que este rendimiento depende no solo de la densidad, sino también de cómo se combina con el uso del microorganismo. Aunque el uso de *Trichoderma* por sí solo no fue significativo ($p = 0.05577$), mostró una tendencia cercana al umbral de significancia. El rendimiento promedio fue de 31.601 kg/ha, con un CV de 8.79%, lo que indica buena precisión. Finalmente, el porcentaje de semilla fue significativamente afectado por el uso de *Trichoderma*, la densidad de siembra y su interacción ($p < 0.05$), mientras que el bloque no tuvo efecto significativo. El porcentaje promedio fue de 57.53%, con un CV de 12.24%, lo que indica una precisión experimental aceptable. En conjunto, estos resultados destacan la importancia de optimizar la densidad de

siembra y considerar el uso de *Trichoderma harzianum* como estrategia para mejorar tanto la productividad total como la eficiencia en la producción de tubérculo semilla.

Tabla 28. Análisis de varianza para el rendimiento total del cultivo

F.v	GL	Rendimiento total	Rendimiento Tubérculo semilla	Porcentaje de semilla
			p valor	
Bloque	3	0.251	0.43864	0.251608
Uso Trichoderma	1	0.133	0.05577	0.020127 *
Densidad siembra	4	6.63e-13 ***	0.00148 **	0.000516 ***
Densidad *	4	0.826	0.00356 **	0.019258 *
Trichoderma	4	0.826	0.00356 **	0.019258 *
Error	27			
Total	39			
Media (Kg/ha)		52563	31601	57.53 (%)
CV (%)		6.11	8.79	12.24

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1. '' 1.

La prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total del cultivo (Tabla 29) según la densidad de siembra mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, donde las densidades 30x120 y 35x90 alcanzaron los mayores rendimientos (61.311 y 60.423 kg/ha, respectivamente), agrupándose en el nivel estadístico "a", lo que indica su superioridad frente a las demás. Las densidades 25x100 y 25x90 presentaron rendimientos intermedios, ubicándose en el grupo "b", mientras que la densidad 15x90 obtuvo el rendimiento más bajo (40.112 kg/ha), perteneciendo al grupo "c". Estos resultados evidencian que densidades intermedias o más amplias favorecen significativamente la productividad del cultivo.

Tabla 29. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento total. Factor Densidad de siembra

Densidad de siembra	Rendimiento total	
	Media (kg/ha)	Grupos
30X120	61311,25	a
35X90	60422,50	a
25X100	50716,88	b
25X90	50252,50	b
15X90	40111,88	c

La prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de tubérculo semilla (Tabla 30) mostró diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T4 (25x100: Trichoderma) obtuvo el mayor rendimiento (36.657 kg/ha), ubicándose en el grupo estadístico "a", seguido por T2 (25x90: Trichoderma) en el grupo "ab", lo que indica su alto desempeño. La mayoría de los tratamientos, incluyendo T7, T9, T1, T6 y T5, se agruparon en el nivel "abc", sin diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, T3 (35x90: Trichoderma) y T8 (35x90: Tiabendazol) presentaron los rendimientos más

bajos, ubicándose en el grupo "c". Estos resultados destacan que las densidades intermedias (25x90 y 25x100), especialmente en combinación con *Trichoderma harzianum*, son más efectivas para maximizar la producción de tubérculo semilla.

Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de tubérculo semilla

Tratamientos	Rendimiento tubérculo semilla		
	Media (kg/ha)	Grupos	
T4	25X100:Trychod	36657,14	a
T2	25X90:Trychod	35959,60	ab
T7	25X90:Thbzl	32645,60	abc
T9	25X100:Thbzl	31683,81	abc
T1	15X90:Trychod	30627,93	abc
T6	15X90:Thbzl	30282,7	abc
T5	30X120:Trychod	30245,9	abc
T10	30X120:Thbzl	29715,4	bc
T3	35X90:Trychod	29150,26	c
T8	35X90:Thbzl	29040,55	c

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (Thbzl).

La prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de tubérculo semilla (Tabla 31) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos T4 (25x100: *Trichoderma*) y T2 (25x90: *Trichoderma*) obtuvieron los porcentajes más altos (69,97% y 68,67%, respectivamente), ubicándose en el grupo estadístico "a", lo que indica su superioridad en la proporción de tubérculos destinados a semilla. Les siguieron T7 (25x90: Tiabendazol) y T9 (25x100: Tiabendazol) en un grupo intermedio ("abc"), mientras que los tratamientos con densidades más bajas o altas, como T1, T6, T5, T10, T3 y T8, mostraron porcentajes significativamente menores, agrupándose en los niveles "bc" y "c". Estos resultados confirman que las densidades intermedias (25x90 y 25x100), especialmente en combinación con *Trichoderma harzianum*, son más efectivas para maximizar la eficiencia del cultivo en términos de producción de semilla.

Tabla 31. Prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de tubérculo semilla

Tratamientos	Porcentaje de tubérculo semilla		
	Media (%)	Grupos	
T4	25X100:Trychod	69,97	a
T2	25X90:Trychod	68,67	a
T7	25X90:Thbzl	65,98	abc
T9	25X100:Thbzl	64,42	abc
T1	15X90:Trychod	53,91	bc
T6	15X90:Thbzl	52,64	bc
T5	30X120:Trychod	51,69	c
T10	30X120:Thbzl	50,79	c
T3	35X90:Trychod	49,85	c
T8	35X90:Thbzl	49,38	c

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (Thbzl).

4.1.11. Incidencia de *Spongospora subterranea*

El análisis de varianza para la incidencia de *Spongospora subterranea* (Tabla 32) no mostró diferencias significativas atribuibles a los factores evaluados ni a su interacción ($p > 0.05$). Tampoco se observaron diferencias entre bloques ($p > 0.05$), lo que sugiere uniformidad en las condiciones experimentales. La incidencia promedio fue baja (3.72%), y el coeficiente de variación (CV) del 12.12% indica una precisión experimental aceptable. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones del ensayo, la incidencia de *Spongospora subterranea* fue baja y no afectó la calidad de los tubérculos cosechados.

Tabla 32. Análisis de varianza para la Incidencia de *Spongospora subterranea*

F.v	GL	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F valor	p valor
Bloque	3	1.321	0.4404	0.713	0.553
Uso Trichoderma	1	1.027	1.0272	1.663	0.208
Densidad siembra	4	1.217	0.3043	0.493	0.741
Densidad *	4	0.865	0.2162	0.350	0.842
Trichoderma					
Error	27	16.679	0.6177		
Total	39				
Media (%)	3.720				
CV (%)	12.12				

Nota. Significado de los códigos: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 '.' 1. ' ' 1.

4.1.12. Análisis costo - beneficio

El análisis costo/beneficio del cultivo de papa Diacol Capiro (Tabla 33), evidenció que el tratamiento más eficiente fue el T4 (25X100:Trychod), el cual alcanzó el mayor rendimiento (36.657,14 kg/ha), con (25.852,90 USD) y una relación costo/beneficio de 4,20, lo que se tradujo en una ganancia neta de 3,20 USD por cada dólar invertido. Le siguió de cerca el tratamiento T2 (25X90:Trychod), con un rendimiento de 35.959,60 kg/ha y un beneficio directo de 3,14 USD. En términos generales, los tratamientos que incluyeron *Trichoderma harzianum* superaron consistentemente a los que utilizaron Tiabendazol, consolidándose como las alternativas más rentables para la producción de tubérculo semilla en esta variedad de papa.

Tabla 33. Análisis costo/beneficio tubérculo semilla para el cultivo de papa Diacol Capiro

Tratamientos	Rend Kg/Ha	Rend Sacos/ Ha	Rend Cat1 Sacos/ Ha	Rend Cat2 Sacos/ Ha	Rend Cat3 Sacos/ Ha	Venta Cat 1 USD/sa co	Venta Cat 2 USD/sa co	Venta Cat 3 USD/sa co	Ingreso Cat 1 USD	Ingreso Cat 2 USD	Ingreso Cat 3 USD	Ingreso Total USD	Costo por tratamiento USD	Costo Beneficio USD	Beneficio Directo USD
T4 25X100:Trychod	36657,14	733,14	363,82	264,59	104,73	50	25	10	18190,76	6614,82	1047,35	25852,9	6149,93	4,20	3,20
T2 25X90:Trychod	35959,6	719,19	365,40	249,40	104,40	50	25	10	18269,80	6234,93	1043,99	25548,7	6166,13	4,14	3,14
T7 25X90:ThbzI	32645,6	652,91	323,84	219,38	109,69	50	25	10	16192,22	5484,46	1096,89	22773,5	6140,18	3,71	2,71
T9 25X100:ThbzI	31683,81	633,68	322,03	218,15	93,49	50	25	10	16101,61	5453,77	934,93	22490,3	6117,67	3,68	2,68
T1 15X90:Trychod	30627,93	612,56	243,15	285,24	84,17	50	25	10	12157,65	7130,93	841,68	20130,2	6299,12	3,20	2,20
T6 15X90:ThbzI	30282,7	605,65	216,00	254,12	135,53	50	25	10	10800,12	6353,01	1355,31	18508,4	6266,86	2,95	1,95
T5 30X120:Trychod	30245,9	604,92	285,01	232,66	87,25	50	25	10	14250,47	5816,52	872,48	20939,4	6113,27	3,43	2,43
T10 30X120:ThbzI	29715,4	594,31	237,72	203,06	153,53	50	25	10	11886,16	5076,38	1535,30	18497,8	6081,01	3,04	2,04
T3 35X90:Trychod	29150,26	583,01	242,49	211,53	128,98	50	25	10	12124,44	5288,32	1289,83	18702,6	6085,12	3,07	2,07
T8 35X90:ThbzI	29040,55	580,81	267,63	210,69	102,50	50	25	10	13381,43	5267,16	1024,96	19673,5	6052,86	3,25	2,25

Nota: Uso de *Trichoderma harzianum* (Trychod), Uso de Tiabendazol (ThbzI).

4.2. DISCUSIÓN

Respecto a las variables vegetativas, los resultados muestran que la densidad de siembra tuvo un efecto significativo en la altura de planta en etapas avanzadas del cultivo (60, 75 y 90 días después de la siembra). Consistentemente, la densidad de 30x120 cm resultó en plantas más bajas, mientras que densidades más estrechas, como 15x90 cm, favorecieron un mayor crecimiento en altura. Esto concuerda con la comprensión agronómica de que una mayor densidad puede generar competencia por la luz, estimulando el alargamiento de los tallos. Es interesante notar que, a diferencia de otros estudios donde la densidad de siembra influyó en el número de tallos (Solano 2018 reportó 7,08 tallos/planta con 60x100 cm⁹), en el estudio principal analizado aquí, ni la densidad, ni *Trichoderma*, ni su interacción tuvieron un efecto significativo en el número o diámetro de tallos.

En cuanto al rendimiento total, la densidad de siembra fue un factor altamente significativo. Las densidades intermedias a más amplias, específicamente 30x120 cm y 35x90 cm, alcanzaron los mayores rendimientos totales (61.311 y 60.423 kg/ha, respectivamente)¹³, siendo significativamente superiores a las densidades más estrechas. Esto sugiere que un mayor espaciamiento por planta (como en 30x120 cm) permite un mejor aprovechamiento de los recursos y una menor competencia, resultando en una mayor producción total por unidad de área. Este hallazgo se relaciona con resultados de otros estudios citados, donde densidades menores o intermedias también obtuvieron altos rendimientos, como el T1 (menor densidad) con 62,04 t/ha en el estudio de Campos (2022). Sin embargo, el estudio de Malte (2022) encontró que la combinación de 25x100 cm con 5g de peso de semilla generó el mayor rendimiento individual, aunque el análisis económico no fue viable, lo que subraya la importancia de considerar no solo el rendimiento sino también la rentabilidad.

El uso de *Trichoderma harzianum*, como bioinsumo, es reconocido por su potencial para mejorar el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y el control de patógenos del suelo. En el presente estudio, aunque *Trichoderma* por sí solo no mostró efectos significativos en variables vegetativas ni en el número de tubérculos, sí tuvo un efecto positivo significativo en el rendimiento total ($p < 0.05$). Además, la prueba de Tukey reveló que el uso de *Trichoderma harzianum* mejoró significativamente el rendimiento en la categoría de tubérculos medianos (categoría 2), superando al

Tiabendazol. Leal et al. (2017) también destacaron el papel clave de *Trichoderma harzianum* dentro de una estrategia de microorganismos combinados que resultó en incrementos notables en el número de tubérculos y el rendimiento total (51,5% y 49,4% más que el testigo, respectivamente), además de un mejor control biológico de *Streptomyces*. Estos hallazgos refuerzan el valor de *Trichoderma* como un componente efectivo en prácticas agrícolas sostenibles. Aunque en un estudio con esquejes (Toapanta 2024), *Trichoderma harzianum* no siempre obtuvo los valores máximos en todas las variables evaluadas (como porcentaje de prendimiento, longitud de brote o número de raíces), se reconoció su potencial como bioinsumo en la propagación vegetativa.

La interacción entre la densidad de siembra y el uso de *Trichoderma harzianum* es particularmente relevante y mostró efectos significativos en varias variables críticas para la producción de semilla. Se observaron interacciones significativas en el número y rendimiento de tubérculos de mayor peso (categoría 1). La combinación de densidad 30x120 cm con *Trichoderma* (T5) resultó en el mayor número promedio de tubérculos en la categoría 1 (13,50 tubérculos/planta) y el mayor rendimiento promedio en la categoría 1 (2,60 kg/planta). Esto sugiere que, para la producción de tubérculos de mayor calibre, una densidad de siembra más amplia, potenciada por *Trichoderma*, es beneficiosa.

Crucialmente, para la producción de tubérculo semilla, la interacción fue significativa en el rendimiento de las categorías 1 y 2, y en el rendimiento total de tubérculo semilla. Los tratamientos con densidades intermedias (25x90 cm y 25x100 cm) en combinación con *Trichoderma* (T2 y T4, respectivamente) destacaron con los mayores rendimientos en la categoría 1 de tubérculo semilla. Para la categoría 2 de tubérculo semilla, las densidades más bajas (15x90 cm), tanto con *Trichoderma* como con Tiabendazol (T1 y T6), obtuvieron los mayores rendimientos. Finalmente, para el rendimiento total de tubérculo semilla, los tratamientos T4 (25x100: *Trichoderma*) y T2 (25x90: *Trichoderma*) alcanzaron los valores más altos. Estos resultados confirman que el uso de *Trichoderma harzianum* en densidades intermedias es altamente efectivo para maximizar el rendimiento total de tubérculo semilla. Además, la interacción también fue significativa para el porcentaje de semilla, con T4 (25x100: *Trichoderma*) y T2 (25x90: *Trichoderma*) obteniendo los porcentajes más altos (69,97% y 68,67%). Esto indica que estas densidades intermedias, potenciadas por *Trichoderma*, no solo

aumentan el rendimiento de tubérculo semilla, sino también la eficiencia general en la producción de semilla.

Respecto a la incidencia de *Spongospora subterranea*, en el presente estudio, la incidencia fue baja en general (3.72%) y no se observaron diferencias significativas atribuibles a la densidad de siembra o al uso de *Trichoderma*. Esto difiere de los resultados de Chávez (2022), quien evaluó *Trichoderma sp.* para el manejo de este patógeno y encontró que tratamientos químicos como Fluazinam y Azoxystrobin mostraron menores promedios de incidencia (27,33% y 22,29%) en comparación con *Trichoderma sp.* (30,86%). La baja incidencia en el estudio principal podría deberse a condiciones ambientales menos favorables para la enfermedad o a la ausencia de un inóculo significativo en el suelo del sitio experimental, lo que limitó la capacidad de los tratamientos para mostrar diferencias en el control del patógeno en estas condiciones específicas.

En síntesis, si bien una mayor densidad de siembra (15x90 cm) favorece el crecimiento en altura, densidades intermedias a amplias (30x120 cm, 35x90 cm) tienden a maximizar el rendimiento total. Sin embargo, para la producción de tubérculo semilla, especialmente tubérculos de mayor calibre (categoría 1) y el rendimiento total de tubérculo semilla, las densidades intermedias (25x90 cm y 25x100 cm) en combinación con *Trichoderma harzianum* demostraron ser las estrategias más efectivas. El uso de *Trichoderma* por sí solo también contribuyó positivamente al rendimiento total y al rendimiento de tubérculos medianos. Estos hallazgos resaltan el potencial de integrar el uso de bioinsumos como *Trichoderma harzianum* con la optimización de la densidad de siembra para mejorar la productividad y eficiencia en la producción de semilla de papa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las densidades intermedias (25x90 cm y 25x100 cm) fueron las más eficientes para maximizar el rendimiento total de tubérculo semilla. Aunque las densidades más amplias (30x120 cm y 35x90 cm) favorecieron un mayor rendimiento total del cultivo.
- No se detectaron efectos significativos en la incidencia de *Spongospora subterranea* debido a su baja presencia (3.72%), la combinación de densidades intermedias (25x90 cm y 25x100 cm) con *Trichoderma harzianum* fue la estrategia más efectiva para maximizar el rendimiento de tubérculo semilla, destacando su valor como bioestimulante en condiciones de baja presión del patógeno.
- Desde el punto de vista económico, los tratamientos T4 (25X100:Trychod) y T2 (25X90:Trychod) resultaron ser los más rentables, con un retorno de 3.20 USD y 3,14 USD respectivamente por cada dólar invertido, consolidándose como las alternativas más eficientes.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones adicionales que evalúen si las densidades de siembra intermedias (25x90 cm y 25x100 cm), en combinación con *Trichoderma harzianum*, contribuyen al control de enfermedades del suelo y al aumento de la productividad en distintas variedades de papa.
- Desarrollar ensayos en otros cultivos agrícolas de interés, utilizando diferentes concentraciones de *Trichoderma harzianum*, con el fin de analizar su efecto sobre el desarrollo fenológico, el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J. (2015). Conceptos iniciales en la producción de semilla de papa. AGROSAVIA.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1374/81463_66402.pdf
- Beltrán, C., Sastoque, L., Villamiza, L., Gómez, M., Grijalba, R., García, M., Díaz, A., Smith, A., Moreno, A., Bosa, F., Jaramillo, S., & Ángel, E. (2011). Trichoderma en el control biológico de la Rhizoctoniasis. AGROSAVIA.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11489/44372_57056.pdf
- Benítez, P. (2018). Ficha técnica cultivo de papa. CATIE.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8214.pdf>
- Campos Aguirre, M. (2022). Influencia de la densidad de siembra y un biofermento foliar con EM en la producción de semilla registrada de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Canchan en condiciones edafoclimáticas de Chocobamba Huacrachuco 2020 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Castillo, C., Cuesta, X., & Racines, M. (2021). Manual del cultivo de papa para pequeños productores (3.ª ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Centro Internacional de la papa (CIP). (2017). DATOS Y CIFRAS DE LA PAPA. International Potato Center. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures/>
- Chávez, R. D. (2022). Evaluación de la efectividad de diversas estrategias a base de: Azoxystrobin, Fluazinam, Trichoderma sp. y enraizante para el manejo de *Spongospora subterraena* f.sp en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad súper chola en el cantón Tulcán, provincia del Carchi (Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ed.).
<http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1683>
- Chiriboga, H., Gómez, G., & Garcés, K. (Eds.). (2015). Trichoderma spp. para el control biológico de enfermedades. IICA.
- Cortés Fabiola, Alvarado Gerrado, & Sánchez Gabriela. (2023). Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. Revista Colombiana de Biotecnología, XXV, 1–15.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- Fernández, J. (2016). Trichoderma harzianum. [https://virtual.cuautitlan.unam.mx/agrounam/Fitopatologia/Catalogo_hongo_s_controladores/pdf/3-Trichoderma_harzianum_\(2\).pdf](https://virtual.cuautitlan.unam.mx/agrounam/Fitopatologia/Catalogo_hongo_s_controladores/pdf/3-Trichoderma_harzianum_(2).pdf)
- Gaón, E. (2018). Evaluación de cuatro densidades de siembra de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola, categoría básica, para la producción de

semilla registrada, en el Cantón Bolívar, Carchi [UTN].
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8020/1/03%20AGP%20229%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Guillermo, A. (1959). *Cuántas semillas por hectárea*. Gob.Ec.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/162/1/iniapscbd8.pdf>

IICA. (2023). Aumenta 137% el valor de las importaciones de fertilizantes químicos de América Latina y el Caribe en 2022. IICA. <https://blog.iica.int/blog/aumenta-137-valor-las-importaciones-fertilizantes-quimicos-america-latina-caribe-en-2022>

InfoAgro, P. (2023, March 28). Anatomía de la papa y sus requerimientos edafoclimáticos. Revista InfoAgro México.
<https://mexico.infoagro.com/anatomia-de-la-papa-y-sus-requerimientos-edafoclimaticos/>

Inostroza, J. (2021). Botánica y morfología de la papa. Biblioteca INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/NR36476.pdf>

Intagri. (2016). Trichoderma Control de Hongos Fitopatógenos. Intagri S.C.
<https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/trichoderma-control-de-hongos-fitopatogenos>

Leal-Almanza, J., Gutiérrez-Coronado, M. A., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., Cortes-Jiménez, J. M., & De Los Santos-Villalobos, S. (2017). Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. *Agrociencia*, 52, 1149–1159.

Malte, G. (2022). Efecto del peso y densidad de siembra en la producción de semilla básica de papa (*Solanum tuberosum* L. var. Superchola) en sustrato, Montúfar, Carchi [UTN]. <https://app.bibguru.com/p/44d77646-910b-4e40-b1ea-4c31cc8c295b>

Montesdeoca, F. (2005). Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de Papa de Calidad. https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Guia_produccion_uso_semilla.pdf

Morales, F. (2016). Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.37066/ralap.v14i1.139>


Mula, J. (2020). ¿Qué función tienen las Trichodermas en agricultura? - Agromática. *Agromatica*. <https://www.agromatica.es/trichodermas-en-agricultura/>

Orbe, D., & Cuichán, M. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). INEC.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico.pdf


- Porras, D., & Herrera, A. (2015). Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro para el departamento de Antioquia. AGROSAVIA. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13751/76688_66357.pdf
- Pumisacho, & Velásquez. (2009). Manejo del tubérculo-semilla – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador. <https://cipotato.org/papaenecuador/manejo-del-tuberculo-semilla/#1507937337450-d10e1022-ac12>
- Pumisacho, y Sherwood. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. International Potato Center. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Quintana, B. (2018). Comportamiento agronómico de cuatro cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) en zona agroecológica de sierra alta. Universidad Nacional San Miguel de Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ed269c61-d083-46a9-a5a0-ef41651331f6/content>
- Solano, E. (2018). Evaluación de cuatro densidades de siembra de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad superchola, categoría básica, para la producción de semilla registrada, en el Cantón Bolívar, Carchi [UTN]. <https://app.bibguru.com/p/44d77646-910b-4e40-b1ea-4c31cc8c295b>
- Symborg, B. (2022). Hongo *Trichoderma harzianum*. Symborg. <https://symborg.com/es/trichoderma-harzianum/>
- Toapanta Dias, D. M. (2024). Evaluación de enraizantes en esquejes de dos variedades de papa Súperchola (*Solanum tuberosum*), Iniap-Puca shungo (*Solanum andigenum*) en la Estación Experimental Santa Catalina INIAP-2024 [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Torres, L., Montesdeoca, F., & Andrade, J. (2011). Manejo del tubérculo-semilla. International Potato Center. <https://cipotato.org/papaenecuador/manejo-del-tuberculo-semilla/#1507937268554-2fd6d699-a187>
- Velásquez, J., Andrade, V., Araujo, A., Rivadeneira, J., & Tinoco, K. (2021). Manual de producción de tubérculo-semilla de papa. INIAP. file:///C:/Users/asus/Downloads/Manual%20de%20produccion%20de%20tuberculo%20semilla%20de%20papa_primera%20edicion_compressed.pdf
- Ñustez. (2010). Diacol Capiro. International Potato Center. <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/24-diacol-capiro/>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE AGROPECUARIA
ACTA
DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

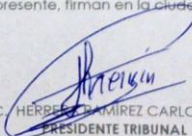
ESTUDIANTE: Andrade Enriquez Arleth Nayel	CÉDULA DE IDENTIDAD: 0450010269
PERIODO ACADÉMICO: 2025 A	
PRESIDENTE TRIBUNAL: MSC. HERRERA RAMÍREZ CARLOS DAVID	DOCENTE TUTOR: MSC. JÁCOME SARCHI GUILLERMO ALEXANDER
DOCENTE: PHD. MORA QUILISMAL RAMIRO SEGUNDO	
TEMA DEL TIC: Evaluación de densidades de siembra en el cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad Diacol Capiro con la aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i> para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC.	


No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,50	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,50	Argumentar las características del tubérculo semilla.
3	METODOLOGÍA	8,50	
4	RESULTADOS	8,50	
5	DISCUSIÓN	8,50	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,50	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,50	Enfocar la exposición en base a las categorías del tubérculo semilla.
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,50	


Obteniendo una nota de: **8,50** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el Informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su Informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **miércoles, 11 de junio de 2025**


 MSC. HERRERA RAMÍREZ CARLOS DAVID
 PRESIDENTE TRIBUNAL


 MSC. JÁCOME SARCHI GUILLERMO ALEXANDER
 DOCENTE TUTOR


 PHD. MORA QUILISMAL RAMIRO SEGUNDO
 DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Arleth Nayeli Andrade Enríquez				
DATE: Lunes, 16 de junio de 2025				
Topic: Evaluación de densidades de siembra en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) variedad Diacol Capiro con la aplicación de Trichoderma harzianum para producción de semilla en el Centro Experimental San Francisco – UPEC.				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		TOTAL 9	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

Autor: Arleth Nayeli Andrade Enríquez

Fecha de recepción del abstract: Lunes, 16 de junio de 2025

Fecha de entrega del informe: Lunes, 16 de junio de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Docente responsable del
CIDEN

Anexo 3. Costos de producción del cultivo de papa Tratamiento 4

Tabla 34. Costos de producción del cultivo de papa Diacol Capiro Mejor Tratamiento T4

Sistema:		Semi-tecnificado		Centro	
Área: 1364 m²				Experimental	
				San Francisco	
				Lugar	UPEC
				Responsable	Arleth Andrade
Materiales	Unidades	Medida	Costo unitario	Costo total	
Mano de obra					16.47
Preparación de terreno (Tractor)	1	Unidad	1.75	1.75	
Trazado de parcelas	2	Personal	0.46	0.92	
Zurcado	2	Personal	0.46	0.92	
Aplicación de cal	1	Personal	0.46	0.46	
Desinfección de suelo semilla	1	Personal	0.46	0.46	
Siembra	2	Personal	0.46	0.92	
Labores culturales					
Retape, aporque, deshierba	4	Personal	0.92	3.68	
Fumigación	15	Personal	0.46	6.90	
Aplicación Trichoderma	1	Personal	0.46	0.46	
Cosecha		Personal			
Materiales					7.94
Piola cono de fibra	1	Unidad	0.29	0.29	
Estacas	16	Unidad	0.32	5.12	
Letreros	4	Unidad	0.36	1.44	
Costales	76	Unidad	0.20	0.80	
Cabuya	1	Unidad	0.29	0.29	
Equipos					10.93
Tanque de 200 l	1	Unidad	25.00	1.46	
Bomba de mochila	1	Unidad	87.00	5.10	
Flexómetro	1	Unidad	5.00	0.29	
Calibrador pie de rey	1	Unidad	18.00	1.05	
Azadones	2	Unidad	15.00	1.75	
Balanza reforzada o de qq?	1	Unidad	13.50	0.79	
Gramera	1	Unidad	8.50	0.49	
Insumos					100.99
Cal agrícola	3	Kg	0.08	0.96	
<i>Solanum tuberosum</i> (Semilla)	4	Kg	7.68	30.72	
Abono (Formula Especial)	20	Kg	4.00	16.00	
Trichoderma	16	ml	1.1	4.4	
Funguicidas			12.28	48.91	
Análisis					2.52
Análisis de suelo	1	Unidad	43	2.52	
Costo Total				\$138.85	

Anexo 4. Análisis de suelo del sitio del experimento



LABORIOS NORTE

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristobal de Troya 4-93 y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD			
Nombre: Centro Experimental UPEC			Provincia: Carchi			
Ciudad: Huaca			Cantón: Huaca			
Teléfono: 0982501591			Parroquia:			
Fax:			Sitio: Centro Experimental UPEC			
DATOS DEL LOTE			DATOS DE LABORATORIO			
Sitio: Centro Experimental UPEC			Nro Reporte.: 11762			
Superficie:			Tipo de Análisis: Completo + T			
Número de Campo: Muestra #1			Muestra: Suelo, muestra 1			
Cultivo Actual:			Fecha de Ingreso:			
A Cultivar:			Fecha de Reporte:			
Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION			
N	43.75	ppm				
P	9.57	ppm				
S	10.00	ppm				
K	0.32	meq/100 ml				
Ca	8.27	meq/100 ml				
Mg	0.82	meq/100 ml				
Zn	3.08	ppm				
Cu	0.87	ppm				
Fe	191.36	ppm				
Mn	2.81	ppm				
B	0.32	ppm				
pH	5.05		<p>0 Requiere Cal 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0</p> <p>Acido Lig. Acido Pract. Neutro Lig. Alcalino Alcalino</p>			
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml				
Al		meq/100 ml				
Na		meq/100 ml				
Ce	0.160	mS/cm	<p>No Salino Lig. Salino Salino Muy Salino</p>			
MO	14.50	%				
Ca	Mg	Ca+Mg (meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural
Mg	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena Limo Arcilla	
10.09	2.56	28.41	9.41		53.20 36.00 10.80	Franco arenoso

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio



Anexo 5. Proceso experimental



Figura 6. Preparación del terreno



Figura 7. División y rotulación de las parcelas



Figura 8. Insumos utilizados



Figura 9. Fertilización



Figura 10. Toma de datos para la altura



Figura 11. Toma de datos para diámetro de tallo



Figura 12. Categorización



Figura 13. Pesaje de cada Cat.



Figura 14. Cosecha

Anexo 5. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad de varianzas

Tabla 35. Verificación de supuestos: Normalidad y homogeneidad de varianzas

VARIABLES	No.	NORMALIDAD		HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS	
		Prueba de Shapiro		Prueba de Bartlett	
		SI	NO	SI	NO
Altura de planta	1	0.8116		0.6424	
	2	0.8058		0.9525	
	3	0.9994		0.1593	
	4	0.3851		0.4386	
	5	0.6939		0.6939	
	6	0.8479		0.1823	
Número de tallos	1	0.2076		0.7077	
	2	0.6288		0.4462	
	3	0.5728		0.1651	
	4	0.8067		0.4897	
	5	0.397		0.5126	
	6	0.3728		0.4823	
Diámetro de tallo	1	0.8512		0.5166	
	2	0.8742		0.3025	
	3	0.4040		0.9537	
	4	0.5615		0.9081	
	5	0.1721		0.2430	
	6	0.1061		0.4051	
Rendimiento C1 PN		0.969		0.7612	
Rendimiento C2 PN		0.509		0.6566	
Rendimiento C3 PN		0.7508		0.5485	
Rendimiento C4 PN		0.3069		0.4722	
Rendimiento PN		0.9022		0.7072	
# Tuberculos C1 PN		0.5121		0.3746	
# Tuberculos C2 PN		0.3166		0.933	
# Tuberculos C3 PN		0.737		0.4337	
# Tuberculos C4 PN		0.2277		0.2123	
# Tuberculos PN		0.4003		0.8669	
Peso prom C1 PN		0.3788		0.6348	
Peso prom C2 PN		0.5281		0.3711	
Peso prom C3 PN		0.1486		0.6056	
Peso prom C4 PN		0.06481		0.4309	
Rendimiento C1 semilla		0.6057		0.9126	
Rendimiento C2 semilla		0.3344		0.2647	
Rendimiento C3 semilla		0.6892		0.4641	
Rendimiento semilla		0.7739		0.411	
# Tuberculos C1 semilla		0.2392		0.2392	
# Tuberculos C2 semilla		0.2281		0.147	
# Tuberculos C3 semilla		0.6056		0.3166	
# Tuberculos semilla		0.3711		0.1486	
Peso prom C1 semilla		0.3304		0.6772	
Peso prom C2 semilla		0.5994		0.3283	
Peso prom C3 semilla		0.8439		0.4814	
% Semilla		0.3304		0.6057	
Rendimiento UE		0.4191		0.2471	
Rendimiento ha		0.8557		0.1839	
Rendimiento Semilla UE		0.2281		0.9026	
Rendimiento Semilla ha		0.5957		0.478	

Anexo 6. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio de un DBCA con arreglo factorial

```
# Instalar librerías 1 sola vez
install.packages("tidyverse")
# Activar librería
library(agricolae)
# Cargar los datos
dbca <- read.delim("clipboard", header=TRUE, colClasses=c("factor", "factor", "factor",
"numeric"))
attach(dbca)
str(dbca)
summary(dbca)
boxplot(Corte.1 ~ Densidad * Trichoderma)
# Ejecutar el ANOVA
anova <- aov(Corte.1 ~ Bloq + Trichoderma * Densidad, data=dbca)
summary(anova)
cv.model(anova)
# Supuestos
plot(anova, 2)
shapiro.test(residuals(anova))
shapiro.test(anova$residuals)
plot(anova, 1)
bartlett.test(Corte.1 ~ Densidad, data=dbca)
bartlett.test(Corte.1 ~ Trichoderma, data=dbca)
bartlett.test(Corte.1 ~ interaction(Densidad, Trichoderma), data=dbca)
# Duncan para cada factor
duncan_test_Trichoderma <- duncan.test(anova, "Trichoderma", console=TRUE)
duncan_test_Densidad <- duncan.test(anova, "Densidad", console=TRUE)
# Duncan para la interacción
duncan_test_interaction <- duncan.test(y=Corte.1,
                                     trt=interaction(Densidad, Trichoderma),
                                     DFerror=anova$df.residual,
                                     MSerror=deviance(anova)/anova$df.residual,
                                     group=TRUE,
                                     console=TRUE)

# Gráfica factores
# PRIMER FACTOR TRICHODERMA
# Comparación de medias
duncan_e <- duncan.test(anova, "Trichoderma", console=TRUE)
duncan_e$groups
# Resumir los datos
# Activar librería
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(Trichoderma) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Duncan (0.05)
resumen$grupo <- duncan_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras
# Activar librería
library(ggplot2)
```

```

resumen$Trichoderma <- factor(resumen$Trichoderma, levels =
resumen$Trichoderma[order(-resumen$promedio)])
ggplot(resumen, aes(x = Trichoderma, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()
# SEGUNDO FACTOR DENSIDAD
# Comparación de medias
duncan_e <- duncan.test(anova, "Densidad", console=TRUE)
duncan_e$groups
# Resumir los datos
# Activar libreria
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(Densidad) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Duncan (0.05)
resumen$grupo <- duncan_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras
# Activar libreria
library(ggplot2)
resumen$Densidad <- factor(resumen$Densidad, levels = resumen$Densidad[order(-
resumen$promedio)])
ggplot(resumen, aes(x = Densidad, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()
# GRÁFICA INTERACCIÓN
# Comparación de medias
duncan_e <- duncan.test(y=Corte.1,
  trt=interaction(Densidad, Trichoderma),
  DError=anova$df.residual,
  MSError=deviance(anova)/anova$df.residual,
  group=TRUE,
  console=TRUE)
duncan_e$groups
# Resumir los datos
# Activar libreria
library(tidyverse)
resumen <- dbca %>% group_by(interaction(Densidad, Trichoderma)) %>%
  summarise(promedio=mean(Corte.1), de=sd(Corte.1), r=length(Corte.1)) %>%
  arrange(desc(promedio))
# Pasar las letras de agrupación Duncan (0.05)
resumen$grupo <- duncan_e$groups$groups
# Elaborar la gráfica de barras

```

```

# Activar libreria
library(ggplot2)
# Reordenar el factor 'Trat' según el promedio de mayor a menor
resumen$`interaction(Densidad, Trichoderma)` <-
factor(resumen$`interaction(Densidad, Trichoderma)` , levels
resumen$`interaction(Densidad, Trichoderma)` [order(-resumen$promedio)])
ggplot(resumen, aes(x = `interaction(Densidad, Trichoderma)`, y = promedio)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "gray", colour = "black", width = 0.50) +
  geom_errorbar(aes(ymin = promedio - de, ymax = promedio + de), width = 0.25) +
  geom_text(aes(y = promedio + de, label = grupo), vjust = -0.5) +
  geom_text(aes(y = 0, label = round(promedio, 2)), vjust = -0.5) +
  labs(x = "Tratamientos", y = "Altura de planta (cm)") +
  theme_classic()

```