



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y tiempo de fermentación en crecimiento y desarrollo en cultivo de pimiento.

**QUEZADA SALAZAR BRITHANY SULEIKA
INGENIERA AGRONOMA**

**PACHECO QUIZHPE ANTHONY RAMIRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y tiempo de fermentación en crecimiento y desarrollo en cultivo de pimiento.

**QUEZADA SALAZAR BRITHANY SULEIKA
INGENIERA AGRONOMA**

**PACHECO QUIZHPE ANTHONY RAMIRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y tiempo de fermentación en crecimiento y desarrollo en cultivo de pimiento.

**QUEZADA SALAZAR BRITHANY SULEIKA
INGENIERA AGRONOMA**

**PACHECO QUIZHPE ANTHONY RAMIRO
INGENIERO AGRONOMO**

JARAMILLO AGUILAR EDWIN EDISON

**MACHALA
2024**

EFECTO DE MEDIOS NUTRICIONALES CON TRICHODERMA HARZIANUM, Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE PIMIENTO

por Anthony Pacheco Quizhpe Suleika Quezada Salazar

Fecha de entrega: 08-ago-2024 03:40p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2429173801

Nombre del archivo: Tesis_Anthony_Pacheco_Suleika_Quezada.docx (2.88M)

Total de palabras: 12569

Total de caracteres: 68725

EFFECTO DE MEDIOS NUTRICIONALES CON TRICHODERMA HARZIANUM, Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE PIMIENTO

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Marina Stocco, Gladys Lampugnani, Soledad Zuluaga, Cecilia Abramoff, Cristina Cordo, Cecilia Mónaco. "Fungicida biológico a base de una cepa del hongo Trichoderma harzianum: su supervivencia en el suelo", Revista de la Facultad de Agronomía, 2019
Publicación <1%

2 C. Yucedag, O. Gailing. "Effects of Seedbed Density on Seedling Morphological Characteristics of four Broadleaved Species", Forest Systems, 2012
Publicación <1%

3 Sara González Orenge. "Mecanismos de tolerancia a estrés salino e hídrico en plantas endémicas, raras o amenazadas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 <1%
Publicación

4 Abel Arturo Morales Samayoa, David Enrique Suchini Sagastume, José Carlos Oliva Vargas. <1% "Evaluación de cuatro extractos vegetales para el manejo de áfidos en el cultivo de loroco en los departamentos de Zacapa y Chiquimula, Guatemala", Revista Académica CUNZAC, 2021
Publicación

5 "Evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura en Uruguay", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020 <1%
Publicación

6 Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y quinoa fermentadas con *Pleurotus ostreatus*", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 <1%
Publicación

7 CESEL S A. "EIA-SD del Proyecto Línea de Transmisión en 220 kV S.E. Carabayllo - S.E. Nueva Jicamarca-IGA0003081", R.D. N° 3522013-MEM/AAE, 2020 <1%
Publicación

8 Edgar García Fortea. "Desarrollo de materiales de pre-mejora y herramientas biotecnológicas para la adaptación de la berenjena al cambio climático", Universitat Politecnica de Valencia, 2020

<1 %

Publicación

9 Benigna Faustino-Lázaro, Arnoldo González Reyna, Hugo Bernal-Barragán, Luis Gómez Hernández et al. "Comportamiento productivo de corderas de pelo, alimentadas con pulpa fresca de limón como fuente energética", Revista MVZ Córdoba, 2016

<1 %

Publicación

10 Siavosh Sadeghian-Khalajabadi, José-Ricardo Acuña-Zornosa, Luis-Fernando Salazar Gutiérrez, Juan-Camilo Rey-Sandoval. "Determinants of nitrogen use efficiency in coffee crops. A review", Revista de Ciencias Agrícolas, 2022

<1 %

Publicación

11 ALTAMIRANO PROYECTOS SOSTENIBLES S.A. A.. "DAAC para el Fundo Ilusión Berries-IGA0021113", R.D.G. N° 0655-2022-MIDAGRIDVDAFIR-DGAAA, 2023

<1 %

Publicación

12 Helena Dvořáčková, Paloma Hueso González, Jaroslav Záhora, RS Ruiz Sinoga. "El efecto de los polímeros absorbentes en la actividad microbologica del suelo bajo condiciones mediterráneas", Revista MVZ Córdoba, 2018 <1 %

Publicación

13 SILVIA BARBÉ MARTÍNEZ. "Función y origende los plásmidos en especies de Erwinia <1 % patógenas y epífitas de frutales de pepita.", Universitat Politecnica de Valencia, 2017

Publicación

14 George W. Norton, Keith Moore, David Quishpe, Victor Barrera, Thomas Debass, Sibusiso Moyo, Daniel B. Taylor. "Evaluating Socio-Economic Impacts of IPM", Wiley, 2005 <1 %

Publicación

15 Jorge Eduardo Castresana, Laura Elena Puhl. "Botanical formulations for the ecological management of Myzus persicae (Sulzer) and Aphis gossypii (Clover) (Hemiptera: Aphididae) and their side effects on parasitoids", Revista de Ciencias Agrícolas, 2021 <1 %

Publicación

16 Maria Teresa Cordero Cucart. "Aplicaciones del factor de transcripción Rosea1 de la ruta de las antocianinas como marcador visual en virología molecular y biotecnología de plantas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

<1%

Publicación

17 Ramón Gisbert Mullor. "Análisis de la variabilidad

genética del género Capsicum <1% frente a

estreses abióticos para su uso como portainjertos.

Estudio de los mecanismos fisiológicos de tolerancia, del

comportamiento agronómico y de la calidad del fruto", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

18 "Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Nature, 2010

<1%

Publicación

19 Antonio García Barberá. "Study of the Degradation of New Lubricant Oil Formulations with the Design and Demands of Current and Future Engines", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

20 Kerem Ural, Mehmet Gultekin, Abidin Atasoy, Bulent Ulutas. "Spatial distribution of vector borne disease agents in dogs in Aegean region, Turkey", Revista MVZ Córdoba, 2014

Publicación

<1 %

21 Claudia E. Toledo-Perdomo, Maribel A. González T., Antonieta Guadalupe Rodas. "Efecto del nitrógeno y aminoácidos libres en las poblaciones de trips (Insecta: Thysanoptera) en ejote francés (Phaseolus vulgaris L.)", La Calera, 2023

Publicación

<1 %

22 Federico Mazzolani, Ricardo Herrera. "Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas - STESSA 2012", CRC Press, 2019

Publicación

<1 %

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, QUEZADA SALAZAR BRITHANY SULEIKA y PACHECO QUIZHPE ANTHONY RAMIRO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y tiempo de fermentación en crecimiento y desarrollo en cultivo de pimiento., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



QUEZADA SALAZAR BRITHANY SULEIKA

0706116449



PACHECO QUIZHPE ANTHONY RAMIRO

0750551871

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. MARCO TEORICO	5
2.1 Origen del pimiento	5
2.2 Taxonomía.....	6
2.3 Morfología	6
2.3.1 Raíz.....	6
2.3.2 Tallo	7
2.3.3 Hojas.....	7
2.3.4 Flores	7
2.3.5 Fruto.....	8
2.3.6 Semillas	8
2.4 Cultivo de pimiento en Ecuador	8
2.5 Principales plagas.....	9
2.5.1 Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	9
2.5.2 Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	10
2.5.3 Trips (<i>Frankliniella accidentalis</i>)	10

2.5.4 Pulgón saltador (<i>Bactericera cockerelli</i>).....	10
2.6 Principales enfermedades.....	11
2.6.1 Enfermedades de origen bacteriano.....	11
2.6.2 Enfermedades de origen fúngico	12
2.6.3 Enfermedades de origen vírico	16
2.7 Manejo integrado de plagas y enfermedades	18
2.8 Control biológico.....	19
2.9 Promotores de crecimiento vegetal.....	20
2.10 Estrés hídrico.....	22
2.10.1 Resistencia al estrés hídrico	22
2.11 Bioestimulantes en plantas	23
2.12 Trichoderma	24
2.12.1 Principales mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i>	26
2.12.2 Sistemas de producción de Trichoderma	27
3. MATERIALES Y METODOS.....	30
3.1 Localización y caracterización del área de estudio	30
3.1.1. Ubicación geográfica de la El Oro, Ecuador. zona de estudio.	30
3.1.2 Características climáticas de la zona.....	31
3.1.3 Especificidades del diseño para los experimentos 1 y 2:	31
3.1.4 Variables estudio.	31

3.2 Materiales y Equipos	32
3.2.1 Materiales	32
3.2.2 Equipos.....	33
3.2.3 Preparación del sustrato.....	33
3.2.4 Preparación de los medios nutricionales.....	34
3.2.5 Inoculación del <i>Trichoderma harzianum</i> en los medios de cultivo.....	35
3.2.6 Aplicación de los medios nutricionales con <i>Trichoderma harzianum</i> en las plántulas de pimiento.....	37
3.3 Metodología	37
3.3.1 Diseño Experimental.....	37
3.3.2 Tratamientos.....	38
3.3.4 Procesamiento de datos	39
3.3.5 Contraste de prueba de hipótesis para determinar si existen o no diferencias estadísticas entre tratamientos.	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÒN	42
4.1 Crecimiento vegetal bajo condiciones normales	42
4.1.1 Altura de planta (cm).....	43
4.1.2 Longitud de raíz (cm)	44
4.1.3 Peso fresco total (g)	46
4.1.4 Peso seco total (g)	47

4.2 Crecimiento vegetal bajo condiciones de estrés hídrico	49
4.2.1 Altura de planta (cm).....	50
4.2.2 Longitud de raíz (cm)	52
4.2.3 Peso fresco total (g)	53
4.2.4 Peso seco total (g).....	55
5. CONCLUSIONES.....	58
6. BIBLIOGRAFÍA.....	59
7. ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos aplicados en la investigación	39
Tabla 2 Resultados del contraste de hipótesis para la comparación de los medios nutricionales en cada tiempo de fermentación en condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento	42
Tabla 3 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable altura de planta en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento	43
Tabla 4 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable longitud de raíz en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento	45
Tabla 5 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso fresco total en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento	46
Tabla 6 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso seco total en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento.	48
Tabla 7 Resultados del contraste de hipótesis para la comparación de los medios nutricionales en cada tiempo de fermentación en condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento.	49
Tabla 8 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable altura de planta en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento	51

Tabla 9 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable longitud de raíz en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento	52
Tabla 10 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso fresco en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento.....	54
Tabla 11 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso seco en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio	30
Figura 2 Preparación del sustrato para la germinación de las plántulas de pimiento	33
Figura 3 Preparación de los medios de cultivo en laboratorio.....	35
Figura 4 Inoculación de hongo <i>Trichoderma harzianum</i>	36
Figura 5 Aplicación del <i>Trichoderma harzianum</i> en las plántulas de Pimiento.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Germinación de las plántulas de pimiento.	69
Anexo 2 Inoculación del <i>Trichoderma harzianum</i> en los medios de cultivo.....	69
Anexo 3 Plántulas de pimiento listas para medición de las variables.	70
Anexo 4 Plántulas de pimiento puestas en la estufa para medir la variable de peso seco.	70
Anexo 5 Peso seco del material vegetal, con la balanza de precisión.	71

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo con profundo respeto y gratitud a quienes han sido pilares fundamentales en nuestra trayectoria académica. A Dios, primeramente, nuestros padres, hermanos, amigos y seres queridos, que han compartido nuestras alegrías y nos han acompañado en los momentos más difíciles, cuyo apoyo y cariño han sido fuente constante de inspiración.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestra sincera gratitud hacia todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa a la realización de este proyecto de tesis. En primer lugar, a nuestros padres y familias, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido la principal fuerza detrás de nuestro éxito académico. A nuestros respetados profesores, cuya guía experta y conocimientos han enriquecido nuestro aprendizaje y crecimiento. A nuestros tutores de tesis, extendemos nuestro sincero agradecimiento por su dirección. A la Universidad Técnica de Machala, por proporcionarnos un entorno educativo estimulante y acceso a recursos académicos de alta calidad. A nuestros amigos y seres queridos, les agradecemos sinceramente por su apoyo incondicional, ánimo constante y comprensión durante todo este proceso académico.

EFFECTO DE MEDIOS NUTRICIONALES CON *TRICHODERMA HARZIANUM*, Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PIMIENTO

Autores:

Quezada Salazar, Suleika

Pacheco Quizhpe, Anthony

Tutor:

Ing. Agr. Edwin Edison Jaramillo Aguilar, Mgs.

RESUMEN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza de gran importancia a nivel mundial, con una producción global de 36,972,494 Toneladas en 2022. China, México, Indonesia, Turquía y España lideran la producción. En Ecuador, el pimiento es esencial y se cultiva en diversas regiones, aunque en la provincia de El Oro su producción ha disminuido debido a factores climáticos, antrópicos y patógenos del suelo. Este ensayo tuvo como objetivo evaluar el efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* en diferentes tiempos de fermentación sobre el crecimiento de plántulas de pimiento bajo condiciones normales y de estrés hídrico. El estudio se llevó a cabo en la granja experimental del campus "Santa Inés" de la Universidad Técnica de Machala, El Oro. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 19 tratamientos y 4 repeticiones, evaluando el efecto de combinaciones de Papa, Arrocillo, Avena con Melaza, Dextrosa y *Trichoderma* en las plantas. Los resultados mostraron que, bajo condiciones normales, los tratamientos más efectivos fueron Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma*. Bajo condiciones de estrés hídrico, los tratamientos más eficaces fueron Papa + Melaza + *Trichoderma*, Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* y Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma*.

Palabras claves: *Trichoderma*, pimiento, fermentación medios nutricionales

**EFFECT OF NUTRITIONAL MEDIA WITH *TRICHODERMA HARZIANUM*, AND
FERMENTATION TIME ON THE GROWTH OF BELL PEPPER SEEDLINGS.**

Authors:

Quezada Salazar, Suleika

Pacheco Quizhpe, Anthony

Tutor:

Ing. Agr. Edwin Edison Jaramillo Aguilar, Mgs.

ABSTRACT

The bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is a highly important vegetable worldwide, with a global production of 36,972,494 tons in 2022. China, Mexico, Indonesia, Turkey, and Spain lead production. In Ecuador, bell pepper is essential and cultivated in various regions, although its production has declined in the province of El Oro due to climatic, anthropogenic, and soil pathogen factors. This study aimed to evaluate the effect of nutritional media with *Trichoderma harzianum* at different fermentation times on the growth of bell pepper seedlings under normal and water-stress conditions. The study was conducted at the experimental farm of the "Santa Inés" campus of the Technical University of Machala, El Oro. A completely randomized design (CRD) with 19 treatments and 4 replications was used to evaluate the effect of combinations of Potato, Rice Husk, Oat with Molasses, Dextrose, and *Trichoderma* on the plants. Results showed that, under normal conditions, the most effective treatments were Oat + Dextrose + *Trichoderma* and Oat + Molasses + *Trichoderma*. Under water-stress conditions, the most effective treatments were Potato + Molasses + *Trichoderma*, Rice Husk + Molasses + *Trichoderma*, and Rice Husk + Dextrose + *Trichoderma*.

Keywords: *Trichoderma*, bell pepper, fermentation, nutritional media

1. INTRODUCCIÓN

La revolución neolítica, también conocida como “transición demográfica” o “revolución agrícola”, fue la primera revolución verificable en la historia. Entre 10.000 a. C. y 5.000 a. C., la domesticación de plantas y animales se desarrolló de manera independiente en Mesopotamia, Egipto, Mesoamérica y el este de Asia, donde se cultivaron diferentes especies como trigo, cebada, maíz y arroz (Perez & Gracia, 2021).

Se consolidaron sociedades pastoriles, dedicadas principalmente a la domesticación animal para subsistir. Simultáneamente, emergió otro grupo de tribus que desarrollaron Sociedades Agrícolas y Hortícolas, enfocadas en el cultivo de plantas, especialmente donde las condiciones climáticas y de suelo eran favorables (Sixto Leguizamón, 2018), para el desarrollo de cereales, fabáceas, tubérculos, raíces y hortalizas.

Las hortalizas son plantas cultivadas en huertas o regadíos, consumidas crudas o cocidas, e incluyen verduras y legumbres verdes. Los tipos principales son: de raíces comestibles (zanahorias, rábanos, nabos), de tallos comestibles (espárragos, apio, ruibarbo), de hojas (lechugas, acelgas, escarolas), de flor (alcachofa, coliflor, brécol) y de frutos (pepino, tomate, pimiento) (Ladrón de Guevara et al., 2005).

El conjunto de hortalizas es vital, debido a su alta concentración de vitaminas, mejoran el sabor y la digestión, aumentan el apetito y previenen el estreñimiento gracias a su contenido de fibra. También ayudan a neutralizar ácidos producidos por alimentos grasos y promueven la movilidad intestinal, siendo una fuente esencial de proteínas (Cañarte Quimis et al., 2022).

Entre estas hortalizas destacadas se encuentra el pimiento, cuya importancia va más allá de su valor nutricional. El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es un género de plantas angiospermas que pertenecen a la familia de las solanáceas. Comprende cuarenta especies aceptadas, de las más 200 descritas, herbáceas o arbustivas, generalmente anuales, aunque las especies cultivadas se han convertido en perennes en condiciones favorables (prácticamente en el mundo entero). En el año 2022 se produjeron en el mundo 36.972.494,39 de Toneladas de pimiento, sobre una superficie de 2.020.819 hectáreas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAOSTAT, 2024).

Los cinco mayores productores de pimiento son China, México, Indonesia, Turquía y España que obtienen el 74,44% de la cosecha mundial de esta hortaliza. Entre ellos destaca China con el 45,54% de la producción mundial, México produce 8,42%, Indonesia el 8,17%, Turquía el 8,16%, y España el 4,15% de la producción mundial de pimiento

Según Gavilanes et al. (2017) en Ecuador, el pimiento es uno de los productos agrícolas más cultivados y comercializados desde invernaderos y a campo abierto. En el año 2022 se cultivó una área de 2.240 hectáreas donde se obtuvo alrededor de 8.665,02 Toneladas (FAOSTAT, 2024), siendo una especie que se desarrolla en la costa, especialmente en las provincias del Guayas, Santa Elena, Manabí; y en parte de la sierra, como Chimborazo, Loja e Imbabura (Gavilanes Terán et al., 2016).

El cultivo de pimiento ha sido una de las hortalizas de mayor importancia en la zona del cordón fronterizo de la provincia de El Oro, la misma que a través del tiempo ha caído por un sinnúmero de factores tanto antrópicos, climatológicos y patógenos del suelo que redujo el soporte económico de esta actividad, por lo que las áreas de siembra disminuyeron casi en su totalidad.

Una alternativa ante estos factores, es la incorporación de microorganismos antagónicos competitivos para la protección de los cultivos de los patógenos habitantes del suelo. En este trabajo se evaluó el efecto de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* en diversos tiempos de fermentación en el crecimiento y desarrollo del cultivo de pimiento en la granja “Santa Inés”.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Demostrar el efecto de los medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* a diferentes tiempos de fermentación en crecimiento de plántulas de pimiento en condiciones normales y de estrés hídrico.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de promotor de crecimiento vegetal de los medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y a diferentes tiempos de fermentación en plántulas de pimiento bajo condiciones normales.
- Determinar el efecto de los medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* a diferentes tiempos de fermentación en plántulas de pimiento bajo condiciones de estrés hídrico.

2. MARCO TEORICO

2.1 Origen del pimiento

Perteneciente a la familia solanácea, el género *Capsicum*, remonta su origen a las regiones tropicales y subtropicales de América (México, Perú y Bolivia). Durante el siglo XV se introdujo a Europa y se diseminó por el mundo (Pino Q., 2018).

En la actualidad se ha logrado identificar 25 especies, pero por importancia han resaltado cinco: *Capsicum annuum* la cual integra la mayor variedad de pimientos dulces, agridulces y algunos picantes se cultiva de manera particular en Europa y América del Norte (pimiento, ajíes); *C. frutescens* que contiene amplias variedades picantes y se cultiva en América y Asia (ají tabasco), *C. pubescens* (rocoto), *C. baccatum* (ají andino) y *C. chinense* (ají habanero) variedades que se cultivan casi de manera exclusiva en México y en la región Andina toman importancia las variedades *C. pubescens* y *C. baccatum* (Bartolomé et al., 2015).

Las especies del género *Capsicum*, excepto *C. anomalum* localizadas en la región euroasiática, son originarias de América, encontrándose vestigios de su domesticación en las cuevas de Guitarrero y Pachamamay (Perú) con una antigüedad de 8600 a 8000 a. C., así también como en el valle del Tehuacaán (México) datados entre 6500 y 5500 a. C. a pesar de que los restos de plantas son silvestres estas manifiestan signos de cultivo y domesticación (Bartolomé et al., 2015)

Estudios genéticos evidencia que la región andina es el punto de origen de *Capsicum*, considerando a México como centro secundario, esto gracias a la colonización debido al traslado de las semillas en las migraciones de aves y las condiciones ecológicas de la zona, dando como resultado una amplia diversidad similar a la que ocurrió en los andes (Bartolomé et al., 2015).

2.2 Taxonomía

Conforme la clasificación botánica descrita por el Integrated Taxonomic Information System – Report (Integrated Taxonomic Information System, 2011):

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Subfamilia: Solanoideae

Género: *Capsicum* L.

Especie: *Capsicum annuum* L.

2.3 Morfología

2.3.1 Raíz

El sistema radicular del pimiento tiene la capacidad de penetración en el suelo entre 35 a 48 pulgadas (raíz pivotante), para lo cual requiere de características como vigorosidad, de buen desarrollo y de profundidad moderada (raíces adventicias). El mayor desarrollo radicular ocurre en las primeras 12 – 18 pulgadas de profundidad (Fornaris, 2005).

Posee un sistema radicular pivotante, profundo y provisto de un gran número de raíces adventicias bien diferenciado (Buñay Vallejo, 2017).

Existen factores que limitan su desarrollo como la siembra del pimiento por trasplante, déficit de riego (superficial).

2.3.2 Tallo

El tallo del pimiento crece hasta una altura de 40 a 50cm, siendo ramificados, erectos y semileñosos (Buñay Vallejo, 2017).

Presenta 2 a 3 ramificaciones principales de las cuales surgen ramificaciones dicotómicas de forma progresiva hasta el final del cultivo (Olvera Alarcon, 2020).

2.3.3 Hojas

Las hojas son lanceoladas, de borde liso, glabras y de peciolo largo (Del Pino, 2022).

Presentan una coloración verde oscura con nervaduras que cubren la mayor parte de la superficie de la hoja (Olvera Alarcon, 2020).

Su tamaño está sujeto a la variedad del cultivo, lo que, de algún modo, se correlaciona entre el tamaño de la hoja en estadio adulto con el peso promedio del fruto (Buñay Vallejo, 2017).

2.3.4 Flores

Las flores se localizan en las bifurcaciones de las ramificaciones y axilas de las hojas, siendo generalmente de color blanco, de consistencia frágil y de disposición solitaria (Buñay Vallejo, 2017).

Ciertas veces el pedúnculo es largo acostillado y presenta un cáliz con forma tubular de coloración verde, la corola presenta pétalos blancos (la mayoría de especies). La polinización es de tipo autógena, aunque puede presentarse alogamia (polinización cruzada) (Del Pino, 2022).

2.3.5 Fruto

El pimiento presenta un fruto en forma de baya hueca, de consistencia semi-cartilaginosa y de coloración variable (verde, rojo, amarillo), su tonalidad depende de su grado de madurez (Olvera Alarcon, 2020).

Presenta forma de capsula. La baya tiene un pericarpio grueso y en su interior se visualiza tejido placentario donde se endosan las semillas. La forma, tamaño y peso de la baya muestra una variada diversidad (Del Pino, 2022).

2.3.6 Semillas

Se encuentran dispuestas en el interior de la baya en la placenta. De forma redondeada, abundantes, de coloración variable (amarillo pálido a anaranjado). En las variedades dulces se ubican en el centro del fruto mientras que en las variedades picantes pueden encontrarse en el ápice. Tiene capacidad germinativa hasta 4 años (Del Pino, 2022).

2.4 Cultivo de pimiento en Ecuador

Ecuador es un país altamente agrícola, destacando su nivel de productividad a nivel internacional. Según datos del tercer censo nacional agropecuario existen 956 ha de pimiento sembrado con una producción de 5006 TM donde destacan, provincias con mayor producción como, el Guayas, Manabí y Esmeraldas (Plaza et al., 2002).

El pimiento se cultiva en el Litoral y en los valles interandinos del Ecuador dado sus condiciones edafoclimáticas favorables. Su rendimiento a partir de híbridos de crecimiento semi-determinado varía entre 20000 y 25000kg/ha (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2008).

Dentro del país existen territorios con características geográficas, climáticas y de suelo como las provincias de Guayas, Santa Elena, Manabí, El Oro, Imbabura, Chimborazo y Loja donde factores como la altitud, clima y suelo influyen de manera positiva en el desarrollo del cultivo. En el Ecuador el ciclo vegetativo depende de la variedad, siendo el tiempo entre la siembra y la cosecha de 4 a 6 meses (Pinto Mena, 2013).

El cultivo de pimiento se lleva a cabo en invernadero y campo abierto. La producción bajo invernadero faculta la obtención de producciones de alta calidad, buen rendimiento y mayor inocuidad (Bracho Imbaquingo, 2019).

2.5 Principales plagas

Sin considerar el lugar de cultivo, el productor debe realizar controles de plagas y enfermedades que inciden de manera negativa en la calidad y rendimiento del cultivo.

2.5.1 Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

Es un insecto pequeño chupador el cual extrae alimento de la planta y a la vez transmite enfermedades (Guachan Fuertes, 2019).

Las moscas adultas son de coloración blanca y miden entre 1 – 2mm de longitud. En sus estadios de ninfas y adultos utilizan la savia de la planta para su alimentación. Al incrementarse su población producen una liquido de consistencia pegajosa donde se desarrolla la fumagina (aspecto polvoriento de color negro) que se ubica sobre la superficie de la hoja disminuyendo su capacidad fotosintética (Di Fabio et al., 2017).

2.5.2 Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Se visualiza su existencia en el cultivo porque el tejido afectado adquiere una coloración rojiza y con el pasar del tiempo se necrosa. En situaciones de mayor invasión entrelaza su tela de araña cubriendo toda la planta (Certis Belchim., 2023).

Esta plaga posee cinco etapas de desarrollo: huevo, larva, protoninfa (primer estadio ninfal), deutoninfa (segundo estadio ninfal) y adulto. Los huevecillos de color transparente se ubican en el envés de la hoja y cuando eclosionan la larva de coloración café claro adquiere progresivamente una tonalidad verdosa (claro, café, oscura) según su estado ninfal. Al crecer extrae el contenido celular de hojas, tallos y frutos iniciando su ataque desde la parte inferior cerca al suelo (Di Fabio et al., 2017).

2.5.3 Trips (*Frankliniella accidentalis*)

Las altas poblaciones de trips en el cultivo de pimiento durante la floración y fructificación provocan la deformación del fruto y necrosis en su interior lo que representa un daño directo y potencial de esta plaga (Larraín Salas et al., 2010).

2.5.4 Pulgón saltador (*Bactericera cockerelli*)

El pulgón saltador (*Bactericera cockerelli*) es plaga que se nutre de la savia de las plantas hospedadoras, causando daños irreversibles tanto de forma directa como indirecta. El insecto posee tres etapas de desarrollo: huevo, ninfa y adulto. Los daños causados de manera directa se producen cuando esta plaga se encuentra en estado de ninfa, induciendo una toxina en la planta, provocando amarillamientos y debilidad, por consiguiente, su rendimiento y calidad de frutos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010).

En la etapa de ninfa y adulto el pulgón saltador es portador de fitoplasmas y bacterias que generan daños de gran impacto comparado a los directos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010).

2.6 Principales enfermedades

El cultivo de pimiento se ve afectado por la presencia de enfermedades, ya sea de tipo bacteriano, fúngico o vírico, en cada una de sus etapas de crecimiento. Otro factor predisponente son las condiciones climáticas donde se desarrolla el cultivo.

2.6.1 Enfermedades de origen bacteriano

Mancha bacteriana

Esta enfermedad que ataca al cultivo de pimiento tiene como origen la *bacterina Xanthomonas campestris pv vesicatoria (Doidge) Dye*. Esta bacteria gram negativa crece de manera lenta formando colonias de aspecto húmedo – brillante y produce pigmentaciones de color café con contorno que va de redondeado a irregular sobre las hojas, lo que predispone a que otras bacterias y hongos se desarrollen y afecten el fruto (Di Fabio et al., 2017).

Marchitamiento bacteriano

La bacteria *Ralstonia solanacearum* es el agente causal capaz de provocar debilitamiento en la textura de la hoja, aunque verde, durante la exposición continua al sol esta se marchita y pierde su capacidad de recuperación. A la interna del tallo su sistema vascular adquiere una tonalidad marrón-oscuro lo que se traduce en una degeneración progresiva de la planta (Obregón, 2016).

El exceso de humedad se considera como factor predisponente y puede afectar tanto de manera individual o grupal al cultivo. La bacteria se caracteriza por una larga latencia en el suelo,

residuos de cosecha y malezas. Puede estar presente en el agua que se utiliza para riego (Rosa, 2006).

Pudrición blanda bacteriana

El agente causal de esta enfermedad es la bacteria *Erwinia carotovora*. Se desarrolla en la región proximal de la fruta y se disipa al tallo y cáliz. Como sintomatología, se evidencian lesiones sobre la superficie de aspecto acuoso, agrietado, una característica decoloración y según su diseminación aparecen edemas. Factores predisponentes como temperaturas entre 25°C – 30°C y una elevada humedad facultan el desarrollo de esta enfermedad (Rosa, 2006).

2.6.2 Enfermedades de origen fúngico

Damping-off

Los hongos que afectan el cultivo son del género *Phytophthora spp.*, *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, y manifiestan sintomatología según el estado de crecimiento de la planta. Durante la pre-germinación las semillas no crecen y/o se descomponen; mientras que en la post-germinación aparecen lesiones acuosas alrededor del tallo lo que provoca que la planta pierda sostén se incline y muera. La raíz afectada toma coloración oscura y se pudre. Hay mayor afectación en el estado de plántula (Obregón, 2016).

El Damping off incide de manera directa en el descenso del número de plántulas, equilibrio en el desarrollo y la producción en los cultivos (Di Fabio et al., 2017).

Añublo polvoriento

Los géneros *Leveillula taurica*, *Oidiopsis taurica* son los que provocan esta enfermedad común en el cultivo del pimiento. En sus inicios el hongo aparece formando manchas irregulares

- amarillentas en el haz de las hojas, mientras que en su envés se visualiza la presencia de un polvillo blanco (micelio-conidios) (Rosa, 2006).

Este agente fúngico provoca defoliación en la planta, que, en el caso de existir frutos, estos reciban una exposición directa del sol generando escaldaduras. Las hojas sin caer se disponen en el tallo, se amarillan y los márgenes se tuercen. Temperaturas de 25°C en adelante se vuelven óptimas para su desarrollo, mientras que temperaturas sobre los 30°C promueven la aparición de síntomas. Sus esporas se diseminan a través del viento (Obregón, 2016).

Podredumbre de la base del tallo

Esta enfermedad se debe a la presencia del hongo *Sclerotium rolfsii*. En un inicio aparece una lesión acuosa y negruzca en la parte distal del tallo que con el tiempo se transforma en un micelio de color blanco, tupido y se distribuye por la superficie del suelo. En este micelio se ubican esclerocios redondos, de textura algodonosa, que al principio son de color claro y luego se vuelven oscuros y duros (Obregón, 2016).

Este hongo presenta un porcentaje amplio de huéspedes intermediarios, puede habitar el suelo por largos periodos y diseminarse rápidamente en épocas de alta humedad (Rosa, 2006).

Moho blanco

Enfermedad producida por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* y es capaz de provocar un marchitamiento de la planta (parcial, total), pudrición de frutos y muerte de la planta. el hongo inicia colonizando los pétalos de las flores, estos ya contaminados, caen sobre ramas y/o tallo dando inicio a una lesión en forma de anillos concéntricos de coloración blanco-grisáceo (Obregón, 2016).

Cuando invade el tallo hace que la planta colapse. Es un hongo polífago y de alta presencia en cultivos hortícolas. Son capaces de producir damping-off en plántulas (Chiguano Chiguano & Pilatasig Vega, 2022).

Marchitez del chile / Tizón del pimiento

Esta enfermedad se produce por el moho *Phytophthora capsici*, el mismo que se encuentra en el suelo y se disemina de forma rápida cuando existe alta humedad, temperatura templada, pudiendo afectar en estadios de plántulas y plantas adultas (Di Fabio et al., 2017).

Cuando las plantas están en su fase adulta, en la base del tallo aparecen bandas alargadas de coloración verde oscura y de apariencia húmeda, que con el tiempo se tornan irregulares y adquieren una coloración café y terminan rodeando completamente al tallo (Rosa, 2006).

Este moho produce oosporas y zoosporas, siendo estas sus estructuras de reproducción (sexual y asexual) lo que faculta al moho permanecer en el suelo por largos periodos. Es una enfermedad que depende de factores como temperatura, humedad, riego y presencia del inóculo en el suelo para su desarrollo. El moho *Phytophthora capsici* produce elevadas pérdidas en cultivos de dicotiledóneas (Chiguano Chiguano & Pilatasig Vega, 2022).

Marchitamiento por *Verticillium*

Es una enfermedad inducida por el hongo *Verticillium dahliae*, el cual se manifiesta con una ligera clorosis en las hojas y de manera progresiva volverlas amarillas hasta llegar a marchitarse y al finalmente caer de la planta. existe afectación en la zona del cuello de planta debido a que su tejido vascular adquiere una coloración oscura (Obregón, 2016).

Es un hongo que está presente en el suelo, produce microesclerocios los cuales pueden permanecer activos por periodos de más de 8 años. Estas estructuras se forman a partir de la agrupación de hifas (micelio). En los cultivos afectados produce marchitez y muerte de plantas (Koppert, 2024).

Moho gris

Este hongo saprofito del género *Botrytis cinerea* tiene la capacidad de sobrevivir en el suelo y residuos de cosechas, previamente contaminados, como esclerocios por largo tiempo. Se infiltra a través de las lesiones que se ocurren en las plantas. Afecta al pimiento en todas sus etapas fenológicas. En plántulas produce marchitamiento fúngico y en plantas adultas afecta principalmente sus tallos y hojas (Guachan Fuertes, 2019).

Sobre los tejidos afectados se visualiza coloraciones marrones en forma de espinos siendo este un signo propio de la enfermedad. En el tallo produce daños en forma de anillos concéntricos, los cuales están cubiertos de las esporas de color marrón del hongo. En cuanto a los frutos, aparece una podredumbre blanda grisácea, que inicia en el cáliz o a veces en la parte central del fruto. La presencia de un moho gris es su característico (Obregón, 2016).

Mancha gris

Enfermedad fúngica originada por *Stemphylium solani*, el cual se manifiesta con machas de forma oval o circular de aspecto grisáceo con diámetro aproximado de 5mm de consistencia seca. Su centro necrótico es de color blanco-gris y sus bordes marrones que culminan en un halo clorótico. En los tallos de plantas jóvenes estas lesiones aparecen próxima a la zona del cuello con aspecto de estrías longitudinales y bordes de coloración marrón rojizo (Obregón, 2016).

Los conidios presentan mayoritariamente 3 septos trasversales, oblongos, cuyo ápice puede ser redondo o puntiagudo con la presencia de una cicatriz pronunciada en su base redondeada. Tiene una coloración marrón clara definida por líneas verruculosas (Franco et al., 2017).

Antracnosis

El causante de esta enfermedad es el hongo *Colletotrichum capsici* el cual afecta los frutos del pimiento, siendo más predisponente en aquellos frutos maduros. Inicia como pequeñas manchas acuosas de tamaño variable, las cuales con el transcurrir del tiempo se oscurecen, hunden y toman forma circular de color negruzco. La capacidad de supervivencia del hongo es tal que puede encontrarse en semillas, restos de cosechas y en la maleza (Rosa, 2006).

Tiene su inicio en pequeñas lesiones húmedas y aspecto arrugado. Las primeras lesiones con el tiempo se hunden, se vuelven circulares tomando la forma de anillos concéntricos con sus contornos bien definidos. En épocas de elevada humedad, aparecen masas de color rosa-naranja que contiene conidios provenientes de los acérvulos. Cuando la producción coincide en épocas de elevada humedad es donde se dan las mayores pérdidas del cultivo (Cedeño, 2018).

2.6.3 Enfermedades de origen vírico

Peste Negra

Esta enfermedad se conoce como Peste negra, marchitamiento manchado o moteado. Tiene como agente causal al *Tomato Spotted Wilt virus (TSWV)*, el cual fue aislado a partir de su presencia en plantas de tomate. Se caracteriza por promover la aparición de manchas anilladas en las hojas superiores para luego dar paso a la formación de estrías de color oscuro en peciolo y tallos (Herbario virtual de fitopatología FAUBA, 2023).

Los síntomas son diversos en las plantas desde enanismo, márgenes de hojas curvados, manchas anulares en hojas y frutas, así como necrosis en hojas de plantas jóvenes. En los frutos existen deformación con áreas irregulares dando la apariencia de ampollas. Como transmisor del virus se identifica al trips solo en su estadio de larva. Este virus no se transmite por semillas (Obregón, 2016).

Virus del grabado del pimiento (TEV)

Este virus se transmite a través de áfidos, en este caso *Myzus persicae*, que es un áfido verde del melocotón. Las plantas afectadas presentan un moteado clorótico y una distorsión en su follaje. Las hojas y frutas presentan estructuras en forma anillos concéntricos y patrones lineales. Las frutas se deforman con frecuencia. En la raíz provoca marchitez y si la planta sobrevive esta se queda enana y frondosa. Tiene como hospederos a ciertas malezas y algunas solanáceas (Rosa, 2006).

Virus del mosaico del tabaco (TMV)

Este virus afecta al follaje de las plantas de pimiento evidenciando mosaicos prominentes con ciertas arrugas y un desarrollo irregular de las hojas afectando su tamaño. Existe una reducción en la producción dado que sus frutos, si existe formación, tienen un aspecto pequeño y deformado. Variedades de pimiento como el de tipo campana son resistentes a este virus. Su transmisión es de forma mecánica, encontrándose en los materiales de campo, restos de cosecha, herramientas de trabajo y por semillas contaminadas (Rosa, 2006).

2.7 Manejo integrado de plagas y enfermedades

El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), surge en la década de los 70 como una respuesta a la idea radical del uso, manejo, aplicación y control químico a los cultivos, esto debido a estudios posteriores, sobre los efectos perjudiciales que estos productos causan en la salud humana y el ecosistema local (Oyarzún et al., 2002).

Este sistema de control (químico, biológico, mecánico, cultural, vacuna, antibiótico) busca que las plagas y enfermedades lleguen a niveles que no produzcan daños significativos en el cultivo, con consecuentes pérdidas económicas, a través del uso de factores naturales o derivados. Se faculta el uso de productos químicos cuando existe un alto riesgo de pérdida de la producción con la finalidad de inducir un balance entre la plaga/enfermedad y sus factores predisponentes (Casapaico Pultay, 2024).

Un MIPE debe maximizar la aplicación de medidas preventivas en el cultivo, para ello debe considerar:

- **Gestión de la resistencia:** consiste en la aplicación y manejo de cultivos mejorados genéticamente capaces de resistir y tolerar plagas y enfermedades, esto coadyuvado con prácticas que eviten situaciones de estrés y desequilibrios nutricionales permitiendo una mejor respuesta del cultivo.
- **Conocimiento y aplicación de medidas y prácticas:** hace referencia al uso de protocolos y medidas de saneamiento (desechos de rastrojos, restos de podas, limpieza de áreas) con la finalidad de minimizar la presencia e invasividad del inóculo, ya sea de la plaga o enfermedad, no solo del cultivo sino también de sus áreas circundantes.
- **Manejo de la biodiversidad:** está sujeta a la aplicación de prácticas que promuevan la operación de los enemigos naturales de aquellas plagas que afectan el cultivo en todas sus

etapas fenológicas como por ejemplo la utilización de insectos benéficos los cuales requieren de alternativas para su disponibilidad y hábitat normal en el cultivo. Aquí se incluye el uso o descarte de especies vegetales que resulten benéficas o nocivas (reservorio de plagas y virus) para el cultivo (Mitidieri et al., 2013).

En consecuencia, un MIPE busca aplicar criterios y procesos técnicos considerando el grado de afectación de la plaga al cultivo, su densidad poblacional, reduciendo el uso de componentes químicos y a la vez asegurando el máximo rendimiento del cultivo cuya finalidad se traduce en una producción sostenible, productos inocuos y un ambiente sano para los productores (Monge Pérez & Chacón Padilla, 2021).

2.8 Control biológico

El control biológico puede definirse como un conjunto de estrategias cuya finalidad es ejercer acciones de tipo preventivo frente a la invasión y diseminación de plagas en el cultivo para ello recurre a la cría y/o conservación de enemigos naturales que se establezcan en una cantidad mayor en relación a las plagas existentes (Mitidieri et al., 2013).

Como enemigos naturales o también denominados controladores biológicos se puede hacer uso de:

- **Predadores:** actúan como tales ciertos insectos con capacidad de alimentarse de la plaga(presa) provocándole daños parciales y/o totales, ejemplo araña, avispa, hormiga, mariquita, crisopa, etc.
- **Parasitoides:** consiste en organismos capaces de desarrollarse a la interna de otros organismos (endoparásito) o en la parte externa (ectoparásito) e inducir daño, ejemplo avispa de la familia *Brachonidae*.

- Entomopatógenos: son microorganismo (bacterias, hongos y virus) que atacan a las plagas provocando enfermedades que ocasionan su muerte ejemplo hongo del género *Beauveria*, bacteria *Bacillus turingiensis*.
- Competidor: resulta en el uso de microorganismos que rivalizan con otros microorganismos obstaculizando su desarrollo ejemplo hongo del género *Trichoderma*, bacteria del género *Agrobacterium tumefaciens* (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2007).

De manera complementaria al MIPE es necesario realizar el monitoreo periódico del cultivo con la finalidad de conocer su estado sanitario, registrar las variaciones en la población de plagas post tratamiento y evaluar la efectividad de las medidas adoptadas. Esto faculta al agricultor saber el momento oportuno y cual opción en cuanto a ingrediente activo utilizar (Mitidieri et al., 2013).

2.9 Promotores de crecimiento vegetal

La problemática derivada del uso excesivo de agroquímicos con la finalidad de optimizar el desarrollo, producción y sanidad en los cultivos ha provocado problemas de índole ambiental y económico. Ante esto surge la iniciativa de utilizar nuevas tecnologías aplicadas a los sistemas productivos desde una óptica holística considerando el eje sustrato-planta-ambiente. Este enfoque permite una denominación a la planta, dado su complejidad, como holobionte (Holo=todo; Bionte=organismo). El holobionte planta expresa su capacidad fenotípica como resultado de los intercambios internos (macro y microorganismos) y externos (sustrato, entorno, bioinoculantes, conjuntos tecnológicos) (Abreo et al., 2022).

Existen áreas en la planta donde se dan interacciones entre microorganismos-planta: filosfera, endosfera y rizosfera. La zona aérea (tallos, hojas, flores y frutos) se relaciona con la

filosfera. El sistema de conducción está relacionado con la endosfera y la rizosfera es la porción de suelo donde entran en contacto las raíces y el material resultante de la planta. Junto a las raíces existe poblaciones microbianas compuestas por bacterias, hongos, levaduras y protozoos. La interrelación entre los microorganismos y la rizosfera puede resultar benéfica, perjudicial o indiferente para las plantas, habiendo cambios según las condiciones del suelo (Benjumeda Muñoz, 2017).

Los microorganismos y su funcionalidad están sujeta a factores de tipo biótico (interacción entre microorganismos, conformación biológica del suelo, reconocimiento planta – microorganismo) y factores de tipo abiótico (condiciones climáticas, composición físico-química del suelo) (González F. & Fuentes M., 2017).

Un grupo amplio de microorganismos, considerados funcionales, se los denomina PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), esto para catalogar a rizobacterias de tipo benéfico con capacidad de potenciar el crecimiento de las plantas. Debido a su funcionalidad poseen características como: capacidad para diluir fosfato mineral y otros nutrientes, promover la resistencia al stress por parte de la planta, mejorar la estructura del suelo y su contenido de materia orgánica (Mesas Gallardo, 2015).

Estudios previos donde se utilizaron biofertilizantes en cultivo de pimiento evidencian que su aplicación resulta óptima mediante el uso de fertirriego e incluso destaca en producción cuando se usa fertilización química (Lupiáñez, 2021).

Varias rizobacterias y rizohongos estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Como ejemplos encontramos ciertos géneros con esta capacidad: *Streptomyces*, *Bacillus*,

Enterobacter, Trichoderma, Mortierella, Aspergillus, Pseudomonas, Burkholderia, etc (Mesas Gallardo, 2015).

2.10 Estrés hídrico

Factores como el incremento poblacional, el desarrollo económico, alteraciones climáticas y la pérdida de ecosistemas influyen en la disponibilidad del recurso agua. A la pérdida de capacidad de equilibrio entre la oferta y demanda en su consumo se la relaciona con el estrés hídrico. En los cultivos es determinante la cantidad y demanda de agua para satisfacer sus requerimientos en las distintas etapas fenológicas (Caballero Güendulain, 2017).

Cultivos sometidos a estrés hídrico manifiestan déficits en crecimiento y productividad. Como alternativa a esta problemática se promueve el uso y aplicación de bioestimulantes, que pueden ejercer efectos positivos para el cultivo en cuanto a crecimiento, rendimiento, eficiencia y contenido de agua (Hernández Figueroa et al., 2022).

El estrés hídrico se manifiesta en el tejido vegetal cuando su capacidad de hidratación es menor al nivel máximo sugerido. Es por ello que un cultivo de manera constante y en ciertos niveles se encontrara en situaciones de estrés hídrico (Amores Puyotaxi, 2021).

Los rendimientos en el cultivo no solo se ven disminuidos por el estrés hídrico, también puede verse afectado por suelos saturados, donde la escasez de oxígeno y la imposibilidad de asimilar nutrientes también genera problemas (Tecnología Hortícola, 2024).

2.10.1 Resistencia al estrés hídrico

Varias especies vegetales tienen la capacidad de crecer en entornos con limitaciones de recurso hídrico, debido a que han desarrollado respuestas de tipo morfológico, anatómico, celular y molecular que promueven su tolerancia y adaptación al estrés hídrico (Moreno F., 2009).

El pimiento al ser una planta cuyo sistema radicular superficial y escaso lo vuelve sensible al exceso como a la falta de riego. Así encontramos que el déficit de agua influye en la disminución de la conductancia estomática lo que afecta el proceso de fotosíntesis afectando la producción. La limitación de riego en el cultivo de pimiento durante la floración, fructificación, y maduración de la fruta se traduce en una menor calidad del producto final (Salazar & Hernández, 2018).

Ciertas variedades vegetales frente al estrés hídrico desarrollan el metabolismo C4 y metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM que les permite crecer en entornos áridos. Además, poseen capacidad de aclimatación que se estimula frente al estrés hídrico. En lo relacionado al crecimiento, las plantas limitan de forma específica la expansión foliar, así como la radicular. La disponibilidad de riego interfiere en el crecimiento interrelacionado entre la parte aérea y la parte radicular, lo que se traduce en que la raíz continúe su crecimiento en búsqueda de agua y la parte aérea limite su crecimiento debido al estrés hídrico (Moreno F., 2009).

2.11 Bioestimulantes en plantas

Los bioestimulantes abarcan un concepto amplio ya que son el resultado de sustancias/microorganismos con capacidad de promover la absorción de nutrientes y la tolerancia de las plantas al estrés abiótico. Su uso resulta en cosechas de mejor calidad además de ser un soporte en problemas recurrentes como falta de humedad, luz, cambios de temperatura, etc (Certis Belchim., 2023).

Para obtener bioestimulantes se aplican fórmulas que contienen reguladores de crecimiento vegetal, vitaminas, aminoácidos, enzimas, macro/micro nutrientes. Presentan una baja concentración hormonal (Armijos Encalada, 2014).

Los bioestimulantes mejoran el crecimiento y por ende la vitalidad del cultivo, lo protegen de infecciones y permiten al agricultor emplear sustancias húmicas diluidas, así como una amplia variedad de microbios. Aspectos como costo del producto en el mercado, capacidad de aprovechamiento de residuos de producción agropecuaria local, influyen en los agricultores para su implementación y uso (Pico Alvarado et al., 2022).

La aplicación de bioestimulantes en los cultivos conlleva a un menor uso de fertilizantes dando cumplimiento así a ciertas legislaciones que pretenden reducir el uso de fertilizantes químicos. Según su procedencia, los bioestimulantes se clasifican:

- Hongos y bacterias benéficas
- Compuestos inorgánicos
- Extractos de algas y plantas
- Quitosanos y/o biopolímeros
- Ácidos fúlvicos y húmicos
- Mezclas de péptidos y aminoácidos (Certis Belchim., 2023).

Entre los beneficios que destacan frente al uso de bioestimulantes tenemos: a) germinación integra y rápida, b) optimización de procesos fisiológicos, c) multiplicación y desarrollo celular, d) estimulación de masa radicular, e) mejor absorción de agua y nutrientes del suelo, f) resistencia a factores bióticos y abióticos, g) recuperación y reactivación post-estrés del cultivo, h) mayor producción y calidad de cosechas (Solis Salinas, 2020).

2.12 Trichoderma

Es un hongo cosmopolita aeróbico capaz de adaptarse y producir metabolitos (enzimas, promotores de crecimiento vegetal, compuestos volátiles), condicionando su uso como agente de

biocontrol frente a especies fúngicas fitopatógenas dado sus capacidades como antibiosis, micoparasitismo, competencia por nutrientes/espacio y su facilidad para generar metabolitos secundarios (Hernández et al., 2019).

Trichoderma spp es utilizado como agente de control biológico ya que presenta un crecimiento y desarrollo relativamente rápido. Posee gran tolerancia frente a condiciones ambientales extremas, así como a entornos con presencia de agroquímicos. Tiene la cualidad de crecer en varios tipos de suelos lo que puede viabilizar su uso en la agricultura. Este hongo requiere de un espacio húmedo para su germinación (Hidalgo & Moran Caicedo, 2020).

En la clasificación taxonómica el género *Trichoderma* se ubica en:

Reino: Mycetae

División: Eumycota

Sub-division: Ascomycotina

Clase: Euascomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Hypicraceae

Género: *Trichoderma*

(Chiguano Chiguano & Pilatasig Vega, 2022)

La efectividad como agente de control biológico está determinada por las cepas de *Trichoderma* en contraste a la especie, ya que estas pueden variar en su modo de acción aun perteneciendo a la misma especie (Hidalgo & Moran Caicedo, 2020).

En su fase inicial las colonias de *Trichoderma* presentan una coloración blanca que luego se vuelve verde-amarillenta acompañada de una esporulación abundante. Su micelio es ralo y fino, sus conidióforos tienen el aspecto de un árbol. Los conidios promueven las próximas generaciones durante el periodo vegetativo de las plantas. Se caracterizan por ser haploides y su pared está formada por quitina y glucanos (Infante et al., 2009).

Trichoderma se encuentra disponible en el mercado como bioplaguicida-biofertilizante, también como promotor de rendimiento-crecimiento vegetal, como solubilizador de nutrientes en suelos agrícolas y/o degradador de materia orgánica (Hernández et al., 2019).

2.12.1 Principales mecanismos de acción de *Trichoderma*

La acción biocontroladora de *Trichoderma* está determinada por diversos mecanismos que norman el crecimiento de los hongos fitopatógenos. Entre los principales se encuentran la competencia por nutrientes y espacio, la antibiosis, el micoparasitismo y la acción directa frente al hongo fitopatógeno. Existen otros mecanismos biorreguladores indirectos tales como la inducción de resistencia, la solubilización de sustancias nutritivas y la capacidad de promover el crecimiento radicular (Infante et al., 2009).

- *Competencia*: determinado por el proceso desigual entre dos o más organismos frente a un requerimiento común (nutriente, suelo). Características del agente de control biológico como plasticidad ecológica, rapidez de crecimiento/desarrollo, y factores externos como tipo de suelo, pH, humedad, temperatura, etc., favorecen este antagonismo. La competencia va a estar sujeta a la especie de *Trichoderma*.
- *Antibiosis*: se refiere a la acción concreta de antibióticos o metabolitos tóxicos que genera un microorganismo sobre otro provocando una reacción de sensibilidad como respuesta. Varias cepas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios volátiles y no volátiles los

cuales, sin entrar en contacto físico con los microorganismos, inhiben su desarrollo. A estas sustancias inhibidoras se los considera como antibióticos. La *Trichoderma* produce compuestos no volátiles como *Trichodermina*, *Gliotoxina* y *Viridina*.

- *Micoparasitismo*: es un mecanismo de simbiosis antagónica entre organismos, donde se comprometen enzimas extracelulares (quitinasas, celulasas) que son parte estructural de las paredes celulares de especies fúngicas parasitadas. En este proceso el *Trichoderma* crece quimiotropicamente en el hospedante, degrada su pared celular y debilita casi en su totalidad al fitopatógeno (Infante et al., 2009).
- *Acción directa*: algunas cepas de *Trichoderma* resultan efectivas de forma exclusiva al patógeno específico. Este reconocimiento es posible gracias a las interacciones lectinas-carbohidratos. Cuando existe una respuesta positiva las hifas de *Trichoderma* se adhieren al hospedante mediante ganchos y apresorios, todo esto por mediación de procesos enzimáticos. La *Trichoderma* produce enzimas líticas extracelulares (quitinasas, glucanasas y proteasas) con capacidad de romper las paredes celulares del hospedante (Hidalgo & Moran Caicedo, 2020).

2.12.2 Sistemas de producción de Trichoderma

Fermentación sólida

Esta fermentación se la realiza con materiales insolubles en agua que posibilitan el crecimiento de microorganismos, donde el volumen de agua no debe sobrepasar la capacidad de saturación del sólido donde se reproducirán los microorganismos. Como sustratos se puede utilizar: salvado de trigo, bagazo de caña, pulpa de papel (Hernández et al., 2019).

Este tipo de fermentación faculta al cultivo microbiano desarrollarse sobre la superficie y al interior de una matriz sólida con humedad suficiente para promover la multiplicación de microorganismos. En la actualidad el ahorro de agua, energía y su bajo costo potencian su uso en los campos químico, farmacéutico y ambiental. Por su digestibilidad, para su uso como sustrato portador nutricional tenemos restos de cultivos (salvado de trigo, harina de soja) o subproductos agrícolas-forestales (paja, bagazo, aserrín) (Gómez Bolívar, 2017).

Hacer uso de este tipo de fermentación garantiza un suministro continuo y suficiente de oxígeno, menor cantidad de agua residual y una elevada proporción de compuestos en la fermentación. Resulta en la tecnología que más resalta en su aprovechamiento como recurso renovable (Gómez Bolívar, 2017).

2.12.2 Fermentación líquida

Para este proceso se inocula de manera aséptica una parte de medio de cultivo utilizando el microorganismo deseado (semilla de arranque) el mismo que bajo condiciones óptimas se desarrolla por un tiempo definido con la finalidad de maximizar la obtención del producto. En ciertos casos como la fermentación de alimentos tradicionales, este proceso puede conllevar uno o más meses (Gómez Bolívar, 2017).

En esta fermentación los materiales solubles en agua son utilizados para obtener microorganismo y para multiplicar biomasa. Ante esto el medio utilizado debe resultar económico, de alta disponibilidad y un aceptable equilibrio de nutrientes. Entre los medios más utilizados se encuentran la melaza y los caldos de cultivos (Hernández et al., 2019).

A partir de la cebada, como medio de cultivo, se obtuvo $2,40 \times 10^8$ conidios/ml en un periodo de 3 días de crecimiento. Al cuarto día la concentración de conidios decrece. Otros medios

de cultivo como avena y girasol muestran un máximo de crecimiento al segundo día, sin embargo, su concentración decrece al tercer día (Gómez Bolívar, 2017).

3. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Localización y caracterización del área de estudio.

El presente trabajo se llevó a cabo desde octubre de 2023 hasta febrero de 2024 en la granja experimental del campus “Santa Inés” perteneciente a la Facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, situada en la parroquia El cambio del cantón Machala, en la provincia de El Oro.

3.1.1. Ubicación geográfica de la El Oro, Ecuador. zona de estudio.

El estudio experimental se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

Latitud: 3° 17' 22" S

Longitud: 79° 54' 43" W

Altitud: 5 msnm

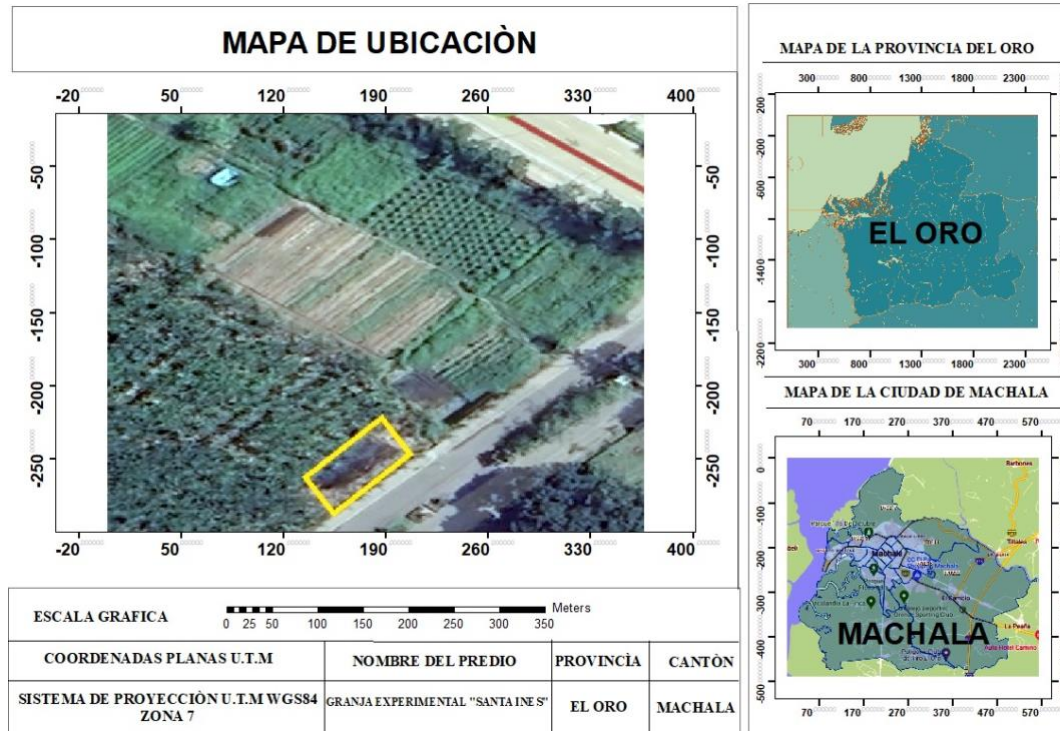


Figura 1 Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Autor

3.1.2 Características climáticas de la zona.

El área de investigación presenta una temperatura media anual variando entre 25 y 30°C, una precipitación anual promedio de 300 a 900 mm un promedio de 2.8 horas sol al día y una humedad relativa del 83% (Portilla Farfán, 2018).

3.1.3 Especificidades del diseño para los experimentos 1 y 2:

- Número de Tratamientos: 7
- Número de Repeticiones: 4
- Número de Unidades Experimentales: 168

3.1.4 Variables estudio.

- Experimento 1 y 2
- Las variables evaluadas en el experimento fueron las siguientes:
- Medir el crecimiento de las plántulas, 45 días de haber germinado.
- Medir la longitud de la raíz.
- Peso fresco del material vegetal
- Peso seco del material vegetal

3.2 Materiales y Equipos

3.2.1 Materiales

- Tierra dulce
- Tamo de arroz
- Arena
- Palas
- Vasos plásticos de 32 OZ
- Semillas de pimiento
- Sacos de yute
- Alcohol
- Vasos IVD estériles
- 1lb papa
- 1lb arrocillo
- 1lb avena
- Melaza
- Dextrosa
- *Trichoderma (harziamun)*
- Botellas de vidrio
- Vasos precipitados de 1000ml
- Vasos precipitados de 100ml
- Mechero de alcohol.
- Gramera.
- Varilla de agitación

- Aluminio
- Fundas de polyfan
- Cinta

3.2.2 Equipos

- Balanza digital
- Balanza de precisión
- Autoclave
- Microondas
- Estufa

3.2.3 Preparación del sustrato.

Para la preparación del sustrato se utilizaron dos sacos de tierra dulce, dos sacos de arena y cinco sacos pequeños de tamo de arroz, mezclamos todo homogéneamente para luego poner la mezcla en sacos de Yute para ser llevadas a la autoclave para esterilizar por 1 hora aproximadamente.



Figura 2 Preparación del sustrato para la germinación de las plántulas de pimiento

3.2.4 Preparación de los medios nutricionales.

Para la realización de los medios nutricionales se utilizó:

- **Papa + Dextrosa + *Trichoderma*.**
- **Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma*.**
- **Avena + Dextrosa + *Trichoderma*.**

En un vaso precipitado de 250 (ml), en el cual se pesaron 80 (g) de papa cortada en cuadritos, 80(g) de arrozillo y 80 (g) de avena, 6(g) de dextrosa, 200 (ml) de agua, 100 (ml/lt) de cloranfenicol. Se colocó la papa, el arrozillo y la avena en 3 vasos precipitados de 500 (ml) diferentes, se procede a mezclar todo durante 1 minuto con ayuda de una varilla de agitación y colocamos en el microondas para calentar, con un tamizador cernimos cada una de las mezclas.

El extracto obtenido de cada uno de las mezclas se aparta a temperatura ambiente, una vez ya frío se vierte el contenido del vaso precipitado en un frasco de 900 ml de vidrio, se colocan pequeños pedazos de papel aluminio en la entrada de la botella a manera de tapa, seguido de cinta masking a su alrededor para evitar posibles derrames, colocamos las botellas de medios de cultivo en fundas de polyfan para luego ser llevadas al autoclave para su esterilización alrededor de 1 hora, posteriormente se dejó enfriar el medio de cultivo a temperatura ambiente.

- **Papa + Melaza + *Trichoderma*.**
- **Arrocillo + Melaza + *Trichoderma*.**
- **Avena + Melaza + *Trichoderma*.**

En un vaso precipitado de 250 (ml), en el cual se pesaron 80 (g) de papa cortada en cuadritos, 80(g) de arrozillo y 80 (g) de avena, 6(g) de melaza, 200 (ml) de agua, 100 (ml/lt) de

cloranfenicol. Se colocó la papa, el arrozillo y la avena en 3 vasos precipitados de 500 (ml) diferentes, se procede a mezclar todo durante 1 minuto con ayuda de una varilla de agitación y colocamos en el microondas para calentar, con un tamizador cernimos cada una de las mezclas.



Figura 3 Preparación de los medios de cultivo en laboratorio

3.2.5 Inoculación del *Trichoderma harzianum* en los medios de cultivo.

Una vez preparados los medios de cultivo y puestos a temperatura ambiente procedimos a verter de los frascos a unos envases plásticos estériles de 100 (ml) donde se procedió a colocar 5(g) de *Trichoderma harzianum* acompañado de un mechero para evitar contaminación en los medios de cultivo.

Tomando en cuenta los tiempos de fermentación de la siguiente manera:

- 5,4 y 2 días de fermentación
- Se realizo los medios de cultivo el día miércoles 22 de noviembre de 2023, se procedió a inocular *Trichoderma harzianum* el día viernes 01 de diciembre de 2023 hasta el día 06 del mismo mes para que cumpla con los 5 días de fermentación deseados.
- El día sábado 02 de diciembre de 2023 se procedió a inocular 5(g) de *Trichoderma harzianum* hasta el día 06 del mismo mes para que cumpla con los 4 días de fermentación deseados.
- El día 04 de diciembre de 2023 se procedió a inocular 5(g) de *Trichoderma harzianum* hasta el día 06 del mismo mes para que cumpla con los 2 días de fermentación deseados.



Materiales a utilizar Envases para la inoculación del hongo Inoculación del *Trichoderma*

Figura 4 Inoculación de hongo *Trichoderma harzianum*.

3.2.6 Aplicación de los medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* en las plántulas de pimiento.

La aplicación se realizó tomando la solución madre fermentada de 100 (ml) con el *Trichoderma harzianum* para colocarlos en una probeta de 1000 (ml) se colocó los 100(ml) de solución madre a la probeta seguido de agua hasta completar 500(ml) esa cantidad es dividida y vertida en cada repetición. Se colocó en un vaso precipitado de 80 (ml) la cantidad de 60 (ml) de la solución para verterlos en cada repetición, y así con todos los tratamientos.



Figura 5 Aplicación del *Trichoderma harzianum* en las plántulas de Pimiento

3.3 Metodología

A continuación, se describe la metodología de estudio aplicada.

3.3.1 Diseño Experimental

-Experimento 1: Promotor de crecimiento vegetal

-Experimento 2: Estrés Hídrico

En este experimento se usó un DCA (diseño completamente al azar), se establecieron 19 tratamientos, con 4 repeticiones. Este tipo de diseño es adecuado cuando no hay restricciones sobre la aleatorización y las unidades experimentales son homogéneas, es decir que no hay variaciones significativas entre las unidades antes de aplicar los tratamientos.

Ecuación modelo:

En un DCA, el modelo lineal general se puede expresar como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} es la propuesta observada para el j -ésimo replicado del i -ésimo tratamiento.
- μ es la media general.
- τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento.
- ϵ_{ij} es el error experimental asociado con la observación Y_{ij} , que se asume que está distribuido normalmente con media cero y varianza constante (σ^2)

3.3.2 Tratamientos

En el presente estudio se implementó 19 tratamientos de medios nutricionales con *Trichoderma harzianum* y diferentes tiempos de fermentación. El estudio comenzó en octubre del año 2023 y finalizó en febrero de 2024 en la Granja Santa Inés.

En el experimento 1 y 2 se utilizaron los mismos tratamientos para el estudio que a continuación se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1 Tratamientos aplicados en la investigación
Fuente: El autor

Tratamientos	Medios de cultivo	Tiempo de fermentación (días)
T1	Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	5
T2	Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	5
T3	Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	5
T4	Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	5
T5	Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	5
T6	Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	5
T7	Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4
T8	Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4
T9	Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4
T10	Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	4
T11	Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	4
T12	Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	4
T13	Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	2
T14	Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	2
T15	Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	2
T16	Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	2
T17	Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	2
T18	Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	2
T19	Testigo	0

3.3.4 Procesamiento de datos

Se analizaron los datos en los softwares estadísticos INFOSTAT y SPSS, además se realizó un análisis exploratorio de datos para comprobar primero el cumplimiento del supuesto

de normalidad y homocedasticidad, este mismo nos indica si el procedimiento debe realizarse con pruebas paramétricas y no paramétricas en caso de no cumplir con los supuestos de normalidad de datos. Las variables que no cumplieron con estos supuestos se realizó una prueba estadística no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis.

Prueba de Levene:

Se utilizo la prueba de Levene (que asume homogeneidad) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) para verificar si los valores promedios calculados representan adecuadamente toda la serie temporal. En la Prueba de Levene para cada variable dependiente, se realiza un análisis varianza sobre las desviaciones absolutas de los valores de los medios del grupo respectivo. Si la prueba de Levene es estadísticamente significativa, entonces la hipótesis de varianza homogéneas debe rechazarse. (Torres Armas, 2013).

Prueba de Shapiro-Wilk:

La prueba de Shapiro Wilk se fundamenta en el uso de regresiones y correlaciones aplicados a muestras completas de estadísticos de orden para comprobar la normalidad. Por consiguiente, el empleo de estos estadísticos requiere que la muestra este ordenada de forma ascendente (Carmona Arce & Carrión Rosales, 2015).

3.3.5 Contraste de prueba de hipótesis para determinar si existen o no diferencias estadísticas entre tratamientos.

Prueba estadística paramétrica:

Las pruebas paramétricas dependen de que los datos sigan una distribución normal, ya

que su distribución es libre. Este tipo de distribución también se conoce como distribución sesgada, que puede ser positiva o negativa. Para cada prueba paramétrica, existe una prueba no paramétrica equivalente, por lo que son análogas (Bautista Díaz et al., 2020).

-Análisis de varianza (ANOVA):

Esta metodología examina diferencias en variabilidad, aun cuando el enfoque principal sea la comparación de medias. Para aplicar esta técnica, se deben cumplir tres condiciones fundamentales: independencia entre las k muestras, normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas. El ANOVA nos dirá si hay diferencias significativas entre grupos, pero no nos proporcionara información sobre la naturaleza o dirección de estas diferencias. (Cervero Fernández et al., 2017).

Prueba estadística no paramétrica:

No están relacionados con el estudio de un parámetro de la población. La distribución de la población no es normal y la escala de medición de la variable en cuestión es categórica. Los métodos no paramétricos son menos potentes que los paramétricos, lo que significa que es más difícil rechazar la hipótesis nula utilizando pruebas no paramétricas (Lugo Báez, 2011).

-Prueba Kruskal Wallis:

La prueba de Kruskal-Wallis es una alternativa a la prueba F del análisis de varianza para diseños de clasificación simple. En este caso, se comparan varios grupos utilizando la mediana de cada uno en lugar de las medias. (Mercado Rivera et al., 2018).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Crecimiento vegetal bajo condiciones normales

El p-valor obtenido en cada prueba estadística realizada en las diferentes variables de estudio es menor a alfa (0,05), evidenciando que se presentan diferencias altamente significativas entre los medios nutricionales en evaluaciones realizadas en plántulas de pimiento en condiciones normales de crecimiento en los diferentes tiempos de fermentación. Se demuestra el efecto de los medios nutricionales (*Trichoderma*) en la altura de la planta, longitud de raíz, peso fresco y peso seco de la planta de pimiento (Tabla 2).

Tabla 2 Resultados del contraste de hipótesis para la comparación de los medios nutricionales en cada tiempo de fermentación en condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento

Variables de estudio	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Altura de planta (cm)	0,000	0,000	0,000
Longitud de raíz (cm)	0,000	0,000	0,000
Peso fresco total (g)	0,001	0,001	0,001
Peso Seco total (g)	0,001	0,000	0,000

Nota: Un p-valor < 0,01 indica diferencias estadísticas altamente significativa entre los medios nutricionales en los tiempos de fermentación en función de las variables medidas.

4.1.1 Altura de planta (cm)

A los dos días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (8,17 cm) diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (6,58 cm), mínimo en el testigo (3,0 cm). A los cuatro días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (7,22 cm) diferente al resto de tratamientos, donde se alcanzaron valores menores a 6,33 cm, mínimo en el testigo (5,73 cm). A los cinco días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (7,77 cm) similar a lo obtenido en los demás tratamientos Testigo (7,12), Papa + Dextrosa + *Trichoderma* (7,07), Avena + Dextrosa + *Trichoderma* (7,03), Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* (7,00) y Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma* (6,80), sin embargo, todos fueron diferentes al valor obtenido cuando se utilizó el medio nutricional de Papa + Melaza + *Trichoderma* (5,0 cm).

La utilización de la Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma* resultaron las alternativas más efectivas en relación a la altura de la planta de pimiento bajo condiciones normales de crecimiento, lo que puede estar asociado a una liberación gradual de nutrientes, la estimulación rápida y eficiente de la actividad microbiana, la producción de fitohormonas beneficiosas y la mejora en la estructura del suelo; factores que posibilita la creación de un entorno óptimo para el crecimiento vegetal y la salud general.

Tabla 3 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable altura de planta en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	3,63c	4,40d	7,07a
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	2,63c	4,33d	6,80a
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	8,17a	5,97bc	7,03a
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	2,95c	6,33ab	5,00b
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	5,46b	5,23cd	7,00a
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	6,57b	7,22a	7,77a
Testigo	3,00c	5,73bc	7,12a

Nota: Letras diferentes, en cada tiempo de fermentación, indican diferencias estadísticamente significativas entre los medios nutricionales en relación con la altura de planta (Según Tukey).

4.1.2 Longitud de raíz (cm)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (25,50 cm), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de 18,54 cm, mínimo en el testigo (5,17 cm). A los cuatro días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (10,50 cm), similar a los obtenidos los tratamientos Papa + Dextrosa + *Trichoderma* (9,72 cm) y testigo (9,47 cm) sin embargo, todos

fueron diferentes al valor obtenido cuando se utilizó el medio nutricional de Papa + Melaza + *Trichoderma* (7,87 cm) y demás medios nutricionales, inferiores a este. A los cinco días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (17,70 cm) diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de 15,82 cm, mínimo en el testigo (14,07 cm).

La mayor longitud de raíz fueron los tratamientos con Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma* bajo condiciones normales debido a la combinación de una liberación gradual de nutrientes, la estimulación rápida y eficiente de la actividad microbiana, la producción de fitohormonas beneficiosas y la mejora en la estructura del suelo. Estos factores crean un entorno óptimo para el desarrollo radical.

Tabla 4 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable longitud de raíz en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4,92d	9,72a	15,82b
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4,90d	6,03c	11,27d
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	25,50a	8,20b	15,43b
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	8,43c	7,87b	12,43cd
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	7,57c	6,12c	14,25bc
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	18,54b	10,50a	17,70 ^a

Testigo	5,17d	9,47a	14,07bc
---------	-------	-------	---------

4.1.3 Peso fresco total (g)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso (2,23 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,84 g), mínimo en el testigo (0,15 g). A los cuatro días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* mostró el valor más alto (0,91 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,68 g), mínimo al testigo (0,57 g). A los cinco días de fermentación, el uso del medio nutricional Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor (1,74 g), diferente al resto de tratamientos en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (1,41 g) con un valor el testigo de (0,80 g).

Los tratamientos con Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma* demostraron ser los más efectivos para aumentar el peso fresco de las plantas bajo condiciones normales. Esto se debe a la combinación de una liberación gradual y sostenida de nutrientes, la rápida estimulación de la actividad microbiana, la producción de fitohormonas beneficiosas, y la mejora en la estructura del suelo. Estos factores crean un entorno óptimo para el desarrollo de la biomasa, permitiendo que las plantas crezcan más saludables y con mayor peso fresco.

Tabla 5 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso fresco total en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,13b	0,23b	1,40abc
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,11b	0,23b	1,15abc
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	2,23a	0,68ab	1,32abc
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,19ab	0,68ab	0,99bc
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,53ab	0,59ab	1,74 ^a
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,84ab	0,91a	1,41ab
Testigo	0,15b	0,57ab	0,80c

4.1.4 Peso seco total (g)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso seco de plantas (0,22 g) similar a lo obtenido en el tratamiento Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma* (0,21 g), mínimo en el testigo (0,06 g). A los cuatro días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso seco de planta (0,12 g) diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,08 g) junto con el testigo. A los cinco días de fermentación el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso seco de planta (1,15 g) diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,27 g), mínimo en el testigo (0,11 g).

Los tratamientos con Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma* resultaron ser los más efectivos para aumentar el peso seco de las plantas bajo condiciones normales debido a la combinación de una liberación gradual y sostenida de nutrientes, la rápida estimulación de la actividad microbiana, la producción de fitohormonas beneficiosas, y la mejora en la estructura del suelo. Estos factores crean un entorno óptimo para el desarrollo de la biomasa seca, permitiendo que las plantas crezcan más saludables y con mayor peso seco.

El uso de Avena combinado con Dextrosa o Melaza y *Trichoderma* no solo proporciona un equilibrio nutricional adecuado sino también un impulso en la actividad microbiana que maximiza la eficiencia en la absorción de nutrientes y el desarrollo de biomasa seca, resultando en plantas más robustas y productivas.

Tabla 6 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso seco total en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones normales de crecimiento vegetal de plántulas de pimiento.

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,01b	0,03b	0,23bc
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,21a	0,02b	0,18bc
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,22a	0,08ab	1,15 ^a
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,02ab	0,07ab	0,15bc
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,07ab	0,02b	0,27b

Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,09ab	0,12a	0,25bc
Testigo	0,06ab	0,08ab	0,11c

En este estudio, los tratamientos con Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Melaza + *Trichoderma* han mostrado ser los más efectivos para mejorar la altura de la planta, longitud de raíz, el peso fresco y el peso seco bajo condiciones normales. La influencia de *Trichoderma*, en combinación con estos medios nutricionales y tiempos de fermentación, ha sido clave para obtener estos resultados. De Silva et al., (2019) y (Woo & Pepe, 2018) definieron que el uso de microorganismos beneficiosos en la agricultura es una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas, además, resulta una alternativa prometedora para controlar ciertas enfermedades de las plantas.

4.2 Crecimiento vegetal bajo condiciones de estrés hídrico

El p-valor obtenido en cada prueba estadística realizada en las diferentes variables de estudio es menor a alfa (0,05), evidenciando que se presentan diferencias altamente significativas entre los medios nutricionales en evaluaciones realizadas en plántulas de pimiento en condiciones de estrés hídrico en los diferentes tiempos de fermentación. Se demuestra el efecto de los medios nutricionales (*Trichoderma*) en la altura de la planta, longitud de raíz, peso fresco y peso seco de la planta de pimiento (Tabla 7).

Tabla 7 Resultados del contraste de hipótesis para la comparación de los medios nutricionales en cada tiempo de fermentación en condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento.

Variables de estudio	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Altura de planta (cm)	0,000	0,002	0,000
Longitud de raíz (cm)	0,000	0,000	0,000
Peso fresco total (g)	0,000	0,000	0,000
Peso Seco total (g)	0,000	0,008	0,000

4.2.1 Altura de planta (cm)

A los dos días de fermentación el uso del medio nutricional Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (8,07 cm) similar a lo obtenido en el tratamiento Papa + Melaza + *Trichoderma* (7,91 cm), sin embargo, todos fueron diferentes al valor obtenido cuando se utilizó el medio nutricional de Avena + Melaza + *Trichoderma* (6,59 cm) y demás medios nutricionales que tienen un valor debajo al medio nutricional ante mencionado junto con el testigo con un valor de (5,37 cm). A los cuatro días de fermentación el uso del medio nutricional Papa + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (7,57 cm) diferente al resto de tratamientos, donde se obtuvo valores por debajo de (6,62 cm), mínimo en el testigo (5,77 cm). A los cinco días de fermentación el uso del medio nutricional Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de altura de plantas (7,62 cm) similar a lo obtenido en el tratamiento Papa + Melaza + *Trichoderma* (7,10 cm), sin embargo, todos fueron diferentes al valor obtenido cuando se utilizó el medio nutricional de Avena + Dextrosa + *Trichoderma* (6,60 cm) y demás medios nutricionales que tienen un valor debajo al medio nutricional ante mencionada junto con el testigo con un valor de (5,60 cm).

Los tratamientos con Papa + Melaza + *Trichoderma*, Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* y Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma* resultaron ser los mejores en términos de altura de planta bajo condiciones de estrés hídrico debido a la combinación de un suministro óptimo de nutrientes, mejoramiento de la actividad microbiana beneficiosa, producción de fitohormonas, estructura del suelo adecuada y resistencia al estrés de las plantas; factores que al combinarse permiten la creación de un ambiente que maximiza el crecimiento y la supervivencia de las plantas incluso bajo condiciones limitantes de agua.

Tabla 8 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable altura de planta en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	5,55bc	7,57a	5,67bc
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4,51c	4,93b	7,62a
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	4,57c	4,67b	6,60ab
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	7,91a	6,62ab	7,10a
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	8,07a	4,87b	5,40c
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	6,59b	6,35ab	5,93bc
Testigo	5,37bc	5,77ab	5,60bc

Nota: Letras diferentes, en cada tiempo de fermentación, indican diferencias estadísticamente significativas entre los medios nutricionales en relación con la altura de planta (Según Tukey).

4.2.2 Longitud de raíz (cm)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (15,28 cm) similar a lo obtenido en el tratamiento Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* (14,32 cm), sin embargo, el resto de tratamientos se obtuvieron valores por debajo de (9,69 cm), mínimo en el testigo (7,67 cm). A los cuatro días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (13,07 cm), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (10,57 cm), mínimo en el testigo (8,77 cm). A los cinco días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de longitud de raíz (15,87 cm), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo (13,64 cm), mínimo en el testigo de (10,47 cm)

Los tratamientos Papa + Melaza + *Trichoderma* y Avena + Dextrosa + *Trichoderma* resultaron ser los mejores en términos de longitud de raíz debido a la combinación de una óptima disponibilidad de nutrientes, una rápida y efectiva estimulación microbiana, producción de fitohormonas beneficiosas, y la mejora en la estructura del suelo. Estas condiciones favorecen un desarrollo radical extenso y robusto, incluso bajo condiciones de estrés hídrico. La simbiosis entre *Trichoderma* y las raíces de las plantas crea un ambiente que maximiza el crecimiento y la resistencia de las raíces, lo cual es crucial para la salud general de las plantas.

Tabla 9 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable longitud de raíz en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	7,15c	10,57b	7,67e
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	6,37c	10,49b	13,64b
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	7,37c	8,92b	15,87a
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	15,28a	13,07a	12,62bc
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	14,32a	8,02b	9,97d
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	9,69b	9,43b	11,30cd
Testigo	7,67c	8,77b	10,47cd

4.2.3 Peso fresco total (g)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso (0,57 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,40 g), mínimo en el testigo (0,14 g). A los cuatro días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Dextrosa + *Trichoderma* alcanzó el valor más alto (0,54 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,47 g), mínimo en el testigo (0,40 g). A los cinco días de fermentación, el uso del medio nutricional Avena + Dextrosa + *Trichoderma* y Papa + Melaza + *Trichoderma* demostraron el mayor valor (0,61 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,38 g), mínimo en el testigo (0,22 g).

Los tratamientos Papa + Melaza + *Trichoderma*, Papa + Dextrosa + *Trichoderma* y Avena + Dextrosa + *Trichoderma* resultaron ser los más efectivos en términos de peso fresco bajo condiciones de estrés hídrico debido a la combinación de una disponibilidad óptima de nutrientes, la estimulación de la actividad microbiana, la producción de fitohormonas beneficiosas y la mejora en la estructura del suelo. Estos factores permiten que las plantas mantengan una mayor biomasa incluso bajo condiciones de estrés hídrico, lo cual es crucial para la productividad y salud general de las plantas.

Tabla 10 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso fresco en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,20c	0,54a	0,32bc
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,11c	0,20c	0,29bc
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,11c	0,23c	0,61a
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,57a	0,47ab	0,61a
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,34b	0,24c	0,20c
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,40b	0,31bc	0,38b
Testigo	0,14c	0,40abc	0,22c

4.2.4 Peso seco total (g)

A los dos días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Melaza + *Trichoderma* alcanzó el mayor valor de peso seco de planta (0,13 g), similar a lo obtenido en el tratamiento Arrocillo + Melaza + *Trichoderma* (0,11 g), sin embargo, el resto de tratamientos se obtuvieron valores por debajo de (0,08 g), mínimo en el testigo (0,03 g). A los cuatro días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Dextrosa + *Trichoderma* mostró el valor más alto (0,14 g), diferente al resto de tratamientos, en los cuales se obtuvieron valores por debajo de (0,08 g), mínimo en el testigo (0,07). A los cinco días de fermentación, el uso del medio nutricional Papa + Melaza + *Trichoderma* mostró el mayor valor de peso (0,16 g), similar a lo obtenido en los tratamientos Arrocillo + Dextrosa + *Trichoderma* (0,15 g), Avena + Dextrosa + *Trichoderma* (0,13 g), mínimo en el testigo (0,05 g).

La combinación de Papa + Melaza + *Trichoderma* y Papa + Dextrosa + *Trichoderma* resultó en un mayor peso seco, bajo condiciones de estrés hídrico debido a la liberación gradual y sostenida de nutrientes, la estimulación rápida y efectiva de la actividad microbiana, y la mejora en la absorción de agua y nutrientes, gracias a *Trichoderma*. Estos tratamientos también optimizan la producción de fitohormonas y mejorar la estructura del suelo, creando un ambiente propicio para que las plantas mantengan y desarrollen su biomasa, incluso en condiciones adversas. La capacidad de *Trichoderma* para inducir defensas y mejorar la resiliencia al estrés hídrico, también juega un papel clave en el éxito de estos tratamientos, asegurando que las plantas puedan seguir creciendo y acumulando biomasa seca de manera eficiente.

En condiciones de estrés hídrico, el uso de tratamientos como "Papa + Melaza + *Trichoderma*" y "Avena + Dextrosa + *Trichoderma*" proporciona un equilibrio nutricional adecuado y un impulso significativo en la actividad microbiana. Estos tratamientos no solo mejoran la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua, sino que también maximizan la eficiencia en la absorción de nutrientes y el desarrollo de biomasa radicular. Como resultado, las plantas se vuelven más robustas y capaces de resistir las condiciones adversas del estrés hídrico, mostrando un crecimiento más saludable y una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes.

Tabla 11 Tabla de subconjunto homogéneo de Tukey para la variable peso seco en diferentes tiempos de fermentación bajo condiciones de estrés hídrico en plántulas de pimiento

Medios nutricionales	Dos días de fermentación	Cuatro días de fermentación	Cinco días de fermentación
Papa + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,04c	0,14a	0,11ab
Arrocillo + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,02c	0,05ab	0,15a
Avena + Dextrosa + <i>Trichoderma</i>	0,02c	0,05ab	0,13a
Papa + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,13a	0,08ab	0,16a
Arrocillo + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,11a	0,08ab	0,03c
Avena + Melaza + <i>Trichoderma</i>	0,08b	0,04b	0,07bc
Testigo	0,03c	0,07ab	0,05bc

Los tratamientos que combinan papa, avena, melaza y dextrosa con *Trichoderma* han demostrado ser efectivos para mejorar el crecimiento de las raíces y la altura de las plantas, dependiendo del tiempo de fermentación. La fermentación es un proceso biológico que puede mejorar significativamente la disponibilidad de nutrientes en los sustratos utilizados para el crecimiento de las plantas. La utilización de *Trichoderma harzianum* en combinación con diversos sustratos y azúcares en diferentes tiempos de fermentación puede optimizar el desarrollo y la salud de las plantas, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico

Trichoderma harzianum ha demostrado ser eficaz en la mitigación del estrés hídrico en plantas. Estudios como el de Shores et al.,(2010), han evidenciado que este hongo puede mejorar la tolerancia al estrés hídrico mediante la producción de compuestos bioactivos que inducen resistencia sistémica y mejoran la capacidad de las plantas para absorber y utilizar el agua de manera más eficiente. En nuestro estudio, se observó que las plántulas tratadas con *Trichoderma* presentaron una mejor adaptación a las condiciones de déficit hídrico, lo cual se reflejó en un menor marchitamiento y una mayor biomasa comparado con las plántulas no tratadas.

5. CONCLUSIONES

Bajo condiciones normales, los tratamientos con avena + dextrosa + *Trichoderma* y avena + melaza + *Trichoderma harzianum* demostraron ser los más efectivos en incrementar la altura de plantas de pimiento, longitud de raíz, peso fresco y peso seco. La combinación de una liberación gradual de nutrientes de la avena, junto con la rápida estimulación de la actividad microbiana proporcionada por la dextrosa o la melaza, permitió la creación de un entorno óptimo para el desarrollo vegetal. La acción del *Trichoderma* mejoró la absorción de nutrientes y la producción de fitohormonas, contribuyendo al crecimiento robusto de las plantas.

En condiciones de estrés hídrico, los tratamientos que incluyeron papa + melaza + *Trichoderma*, arrozillo + melaza + *Trichoderma* y arrozillo + dextrosa + *Trichoderma* resultaron ser los más efectivos en términos de altura de planta, longitud de raíz, peso fresco y peso seco. La papa y el arrozillo proporcionaron una estructura de suelo que mejoró la retención de agua y la aireación, mientras que la melaza y la dextrosa actuaron como fuentes rápidas de energía para la actividad microbiana. El *Trichoderma* jugó un papel crucial en la mejora de la solubilización de nutrientes, producción de fitohormonas y en la inducción de defensas contra el estrés hídrico.

El uso de medios nutricionales combinados con *T. harzianum* y tiempos de fermentación adecuados mejoran significativamente el crecimiento y la resistencia de las plántulas de pimiento tanto en condiciones normales como de estrés hídrico. Estos tratamientos optimizan el desarrollo de biomasa y la salud de las plantas, además ofrecen una estrategia sostenible y eficiente para mejorar la productividad agrícola. La implementación de estos hallazgos puede contribuir significativamente a prácticas agrícolas más sostenibles, reduciendo la dependencia de insumos químicos y mejorando la resiliencia de los cultivos ante condiciones adversas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abreo, E., Behyhaut, E., & Rivas, F. (2022). *Microorganismos para la Agricultura* [Simposio, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Rincon del Colorado, Uruguay].
http://www.inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Las Brujas/Plataforma Bioinsumos/Simposio_microorganismos_2022/SAD 801 Microorganismos para la Agricultura.pdf
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (2007). *Guía del manejo integrado de plagas (MIP) para técnicos y productores*.
https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf
- Amores Puyotaxi, L. L. (2021). *Efectos en la producción de cultivo de pimiento a cuatro laminas de aplicación de riego* [Tesis de Maestría, Universidad Agraria del Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AMORES PUTOTAXI LUDVIK.pdf>
- Armijos Encalada, S. I. (2014). *Respuesta del pimiento (Capsicum annum L.) a la aplicación de bioestimulantes en la parroquia El Progreso, Cantón Pasaje* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1065>
- Bartolomé, T., Coletto, J., & Velázquez, R. (2015). *La agricultura y la ganadería extremeñas* [Informe, Universidad de Extremadura]. <https://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2015/La agricultura y la Ganaderia 2015.pdf>
- Bautista Díaz, M. L., Victoria Rodríguez, E., Vargas Estrella, L. B., & Hernández Chamosa, C. (2020). Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. *Revista Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La*

Salud, 9(17), 78–81. <https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6293>

Benjumeda Muñoz, D. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones* [Tesis de Pregrado, Universidad de Sevilla].

<https://idus.us.es/handle/11441/65140>

Bracho Imbaquingo, J. E. (2019). *Análisis de la rentabilidad del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) bajo invernadero en el Sector Piquer, Cantón Mira, Provincia del Carchi* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo].

<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6398>

Buñay Vallejo, C. J. (2017). *Etapas fenológicas del cultivo del pimiento (Capsicum annum. L) var. verde, bajo las condiciones climáticas del cantón General Antonio Elizalde (Bucay) provincia del Guayas* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25090>

Caballero Güendulain, K. (2017). *Estrés hídrico y desigualdad, factores que encarecen el agua* [Reporte técnico, Universidad Nacional Autónoma de México].

<https://www.gaceta.unam.mx/estres-hidrico-y-desigualdad-factores-que-encarecen-el-agua/>

Cañarte Quimis, L. Y., Flores Vélez, N. T., & Suárez Delgado, K. E. (2022). La cadena de valor como herramienta innovadora para la sostenibilidad de la comercialización de hortalizas.

Revista Dominio de Las Ciencias, 8(1), 121–135.

<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2562>

Carmona Arce, M., & Carrión Rosales, H. (2015). *Potencia de la prueba estadística de normalidad Jarque-Bera frente a las pruebas de Anderson-Darling, Jarque-Bera Robusta, Chi-Cuadrada, Chen-Shapiro y Shapiro-Wilk.* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma

- del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94337>
- Casapaico Pultay, V. (2024). *Manejo integrado de principales plagas en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) bajo condiciones de Cayalti - Trujillo* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6298>
- Cedeño, L. (2018). *Antracnosis en frutos de pimentón* [Archivo PDF]. <https://www.researchgate.net/publication/329845086>
- Certis Belchim. (2023). *Principales enfermedades y plagas del pimiento*. <https://certisbelchim.es/principales-enfermedades-y-plagas-del-pimiento/>
- Cervero Fernández, C. A., Tuero Herrero, E., Bernardo Gutiérrez, A. B., & Esteban García, M. (2017). *Apuntes de spss* [Archivo PDF]. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/72128?show=full>
- Chiguanco Chiguanco, N. A., & Pilatasig Vega, E. M. (2022). *Control biológico en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) con la aplicación de Trichoderma harzianum* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8646>
- De Silva, N. I., Brooks, S., Lumyong, S., & Hyde, K. D. (2019). Use of endophytes as biocontrol agents. *Fungal Biology Reviews*, 33(2), 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.10.001>
- Del Pino, M. (2022). *Cultivo y manejo del pimiento (Capsicum annuum L.)* [Curso de Horticultura y Floricultura, Universidad Nacional de la Plata]. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/101136/mod_folder/content/0/Guía de Pimiento 2022.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/101136/mod_folder/content/0/Guía%20de%20Pimiento%202022.pdf)

- Di Fabio, A., Lozoya, G., & Dos Santos, O. (2017). *Producción y manejo de cultivo de pimiento* [Archivo PDF]. [https://intercoonecta.aecid.es/Gestin del conocimiento/0029-3 Cultivo de pimientos.pdf](https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/0029-3%20Cultivo%20de%20pimientos.pdf)
- Fornaris, G. (2005). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento*. [Reporte de la estación experimental agrícola, Universidad de Puerto Rico]. <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Características-de-la-Planta-v2005.pdf>
- Franco, M., López, S., Lucentini, G., Troncozo, M., Saparrat, M., Ronco, B., & Balatti, P. (2017). *Mancha Gris De La Hoja En Pimiento En Argentina* [Reporte científico, Instituto de Botánica Carlos Spegazzini]. <https://core.ac.uk/works/51882518/>
- Gavilanes Terán, I., Jara Samaniego, J., Idrovo Novillo, J., Bustamante, M., Pérez Murcia, M. D., Pérez Espinoza, A., López, M., & Paredes, C. (2016). Agroindustrial compost as a peat alternative in the horticultural industry of Ecuador. *Revista Journal of Environmental Management*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.045>
- Gómez Bolívar, T. M.-. (2017). *Evaluación de diferentes medios de cultivo y condiciones para la producción de conidios de Trichoderma spp. mediante fermentación en líquido y sólido* [Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7079>
- González F., H., & Fuentes M., N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17–31. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.60>
- Guachan Fuertes, B. Y. (2019). *Principales plagas y enfermedades en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L.), en el barrio Santa Rosa, cantón Urcuquí* [Tesis de Pregrado,

Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6407>

Herbario virtual de fitopatología FAUBA. (2023). *Peste negra en pimiento (Tomato spotted wilt virus, TSWV)*. https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=425

Hernández Figueroa, K. I., Sánchez Chávez, E., Ojeda Barrios, D. L., Chávez Mendoza, C., Muñoz Márquez, E., & Palacio Márquez, A. (2022). Efectividad a la aplicación de bioestimulantes en frijol ejotero bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 149–160. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3270>

Hernández Melchor, D. J., Ferrera Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). Trichoderma: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Revista Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(1), 98–112. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>

Hidalgo, R., & Moran Caicedo, I. A. (2020). Trichoderma: hongo fungicida usado en tratamientos foliares del suelo y el control de diversas enfermedades producidas por hongos. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 9(7), 5–6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9037959>

Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14–21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (2008). *Guía técnica de cultivos*. Manual No. 73, Editorial INIAP.

Integrated Taxonomic Information System. (2011). *Integrated taxonomic information system -*

report.

https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/RefRpt?search_type=source&search_id=source_id&search_id_value=537

Koppert. (2024). *Enfermedad causada por el hongo Verticillium dahliae*.

<https://www.koppert.mx/enfermedades-de-las-plantas/verticilosis/>

Ladrón de Guevara, V. R., Quiróz Santiago, C., Acosta Pulido, J. C., Pimentel Ayaquica, L. A., &

Quiñones Ramírez, E. I. (2005). Hortalizas, las llaves de la energía. *Revista Digital*

Universitaria, 6(9). https://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art88/sep_art88.pdf

Larraín Salas, P., Sepúlveda Silva, P., Gonzalez Fernández, V., Rojas Barrera, C., & Villavicencio

Pérez, A. (2010). *Manejo de plagas y enfermedades en pimiento, incorporando criterios de producción limpia*. [Informativo Inia, Instituto De Investigaciones Agropecuarias de Chile].

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4402/NR38613.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Lugo Báez, A. (2011). *Pruebas paramétricas y no paramétricas bioestadística II* [Archivo PDF].

<https://vsip.info/pruebas-parametricas-y-no-parametricaspdf-pdf-free.html>

Lupiáñez Fernández, N. (2021). *Uso de biofertilizantes como una herramienta para mejorar la*

producción y calidad de un cultivo intensivo de pimientos [Tesis de Pregrado, Universidad de Almería]. <https://repositorio.ual.es/handle/10835/13780>

Mercado Rivera, J. C., Estrada Pacheco, C. A., & Sebastián Ricardo. (2018). *Pruebas*

paramétricas y no paramétricas y su aplicación en el campo del derecho [Archivo PDF].

<https://vsip.info/pruebas-parametricas-y-no-parametricas-2-pdf-free.html>

- Mesas Gallardo, R. (2015). *Utilización de bacterias endófitas en el desarrollo de plántulas de pimiento* [Trabajo de Pregrado, Universidad de Almería].
<https://repositorio.ual.es/handle/10835/3226>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2010). *SFE desarrolla plan de acción ante la cercanía de la paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.)*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AF-0045.pdf>
- Mitidieri, M., Francescangeli, N., Marcozzi, P., & Piola, M. (2013). *Sanidad en cultivos intensivos 2013: módulo 2: tomate y pimiento: cómo mantener la sanidad de manera responsable*. Buenos Aires Norte, Argentina: INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/2661>
- Monge Pérez, J. E., & Chacón Padilla, K. (2021). *Manejo integrado de plagas en pepino (*Cucumis sativus*) cultivado bajo invernadero: una experiencia* [Reporte Técnico, Universidad de Costa Rica]. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/4ddae99f-ae44-436b-ad91-249326047ade>
- Moreno F., L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Revista Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001298>
- Obregón, V. (2016). *Guía para la identificación de las enfermedades de pimiento en invernadero*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Olvera Alarcon, J. P. (2020). *Interacción de poda y densidad de siembra sobre el calibre del pimiento (*Capsicum annum* L) en el cantón Milagro* [Trabajo de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/index.php>

- Oyarzún, P., Gallegos, P., Asaquibay, C., Forbes, G., Ochoa, J., Paucar, B., Prado, M., Revelo, J., Sherwood, S., & Yumisaca, F. (2002). *Manejo integrado de plagas y enfermedades*. Estación experimental Santa Catalina/CIP, Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias del Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2806>
- Perez, D., & Gracia, M. A. (2021). Sentidos en disputa. El proceso de institucionalización de la agroecología en Argentina. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 6(12), 1–29. <https://ojs.ceil-conicet.gov.ar/index.php/revistaalasru/article/view/764>
- Pico Alvarado, D. B., Hécto Ardisana, E. F., Torres García, C. A., & Fosado Téllez, O. A. (2022). Efecto de bioestimulantes sobre el crecimiento en cuatro híbridos de pimiento. *Revista Ecuador Es Calidad*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.36331/revista.v9i1.139>
- Pino Q., M. T. (ed). (2018). *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes*. Santiago, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 360. <https://biblioteca.inia.cl/items/dc376c4e-18bd-4992-8679-75d167f00985>
- Pinto Mena, M. B. (2013). *El cultivo del pimiento y el clima en el Ecuador* [Estudios e investigaciones meteorológicas, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología]. <https://studylib.es/doc/5171437/el-cultivo-del-pimiento-y-el-clima-en-el-ecuador>
- Plaza, G., Cortez, C., & Martínez, P. (2002). *III Censo Nacional Agropecuario de la República del Ecuador. III Censo Nacional Agropecuario* (Vol. 1, p. 57). https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- Portilla Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana.

- Rosa, E. (2006). *Conjunto tecnológico para la producción de Berenjena* [Archivo PDF].
<https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/BERENJENA-Enfermedades-v2006.pdf>
- Salazar, C., & Hernández, C. (2018). *Respuesta a estrés hídrico controlado del pimiento durante la maduración del fruto* [Boletín, Instituto de Investigaciones Agropecuarias].
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/9e73b675-339a-4aa0-ba63-982bcbf1f88c/content>
- Shoresh, M., Harman, G. E., & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21–43.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114450>
- Sixto Leguizamón, E. (2018). *Historia de la horticultura*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Solis Salinas, K. O. (2020). *Aplicación de dos bioestimulantes agrícolas en el comportamiento agronómico del pimiento (Capsicum annum L.) en el recinto El Deseo, Guayas*. [Trabajo de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/index.php>
- Tecnología Hortícola. (2024). *Bioestimulantes: una solución contra el estrés hídrico en la agricultura*. <https://www.tecnologiahorticola.com/bioestimulantes-solucion-estres-hidrico-agricultura/>
- Torres Armas, E. (2013). *Métodos estadísticos para la investigación experimental* [Archivo PDF].
https://www.academia.edu/16965455/Métodos_Estadísticos_para_la_Investigación?rcc=top_related&rccpos=1&rccpg=0&rclid=29212143338

Woo, S. L., & Pepe, O. (2018). Microbial consortia: Promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9(2003), 7–12.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01801>

7. ANEXOS



Anexo 1 Germinación de las plántulas de pimientó.



Anexo 2 Inoculación del *Trichoderma harzianum* en los medios de cultivo.



Anexo 3 Plántulas de pimienta listas para medición de las variables.



Anexo 4 Plántulas de pimienta puestas en la estufa para medir la variable de peso seco.



Anexo 5 Peso seco del material vegetal, con la balanza de precisión.