

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta De Chile Serrano A La Inoculación De Hongos Micorrízicos
Arbusculares Y Fertilización Química Reducida

Por:

LEONOR DE JESÚS CORTES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta De Chile Serrano A La Inoculación De Hongos Micorrízicos
Arbusculares Y Fertilización Química Reducida

Por:

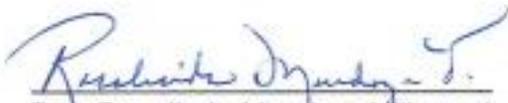
LEONOR DE JESÚS CORTES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor Principal Interno


M.C. José Rafael Paredes Jácome
Asesor Principal Externo


Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor


M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2021



DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Leonor de Jesús Cortes

DEDICATORIA

A mi familia

Alfredo, Nicolasa, Rene, Nayeli, ya que sin ellos no habría sido posible haber concluido mi profesión como Ing. Agrónomo en Horticultura, su apoyo, confianza fe en mi fue lo que me impulso a seguir día a día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haber permitido estar en medio de esta meta, por ser esa fortaleza en los días difíciles en mi camino, por la salud y la fuerza que me das de superar mis obstáculos. Gracias, mi Dios por haberme permitido convivir y conocer personas increíbles que me acompañan en mi trayecto.

A Mi Alma Mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todas las oportunidades y herramientas que pusiste a mi alcance para conseguir mi sueño de hace 5 años, por forjar enseñanzas, valores y lecciones que hacen ser mejores personas. Gracias por las enseñanzas de cada docente que fueron parte de mi enseñanza.

A mi familia

A toda mi familia, en especial a mis padres Alfredo De Jesús Cortes, Nicolasa Cortes Asunción por haber dado la vida, por el apoyo brindado por ser esa voz que me impulso a terminar mi carrera. Gracias a mis hermanos René De Jesús, Nayeli De Jesús por todo el apoyo brindado, por sus consejos de seguir, por los ánimos y porras dieron cuando más lo necesitaba por sacarme una risa a distancia, por nunca dudar de mí. A hermana oliva por su apoyo, a mis hermanitos Magito y Julián por sus buenos deseos.

A mis tías y primos por cada uno de sus consejos, en especial a mi tía Antonia por el apoyo y cariño. A mis papitos Celedonio y Francisca por el amor que me dieron por dejarme una niñez muy bonita.

A mis compañeros y amigos

Por formar parte de mi vida por compartir su tiempo y sus conocimientos, por las experiencias, anécdotas y vivencias compartidas durante este tiempo, las risas compartidas gracias por su amistad les deseo todo el éxito y felicidad gracias: Fernando Abelino, Fernando Lugo, Vicente Rivas, Omar Quintana, Emmanuel Martínez, Juan, Juanita Pérez, Amairani, Lourdes, Olivia, Paty, Emmanuel Moreno, Fabián López.

A mis asesores

Dra. Rosalinda Mendoza Villareal por su apoyo, agradeciendo por su tiempo en este proyecto y por ser partícipe de esta meta.

M.C. José Rafael Paredes Jácome en agradecimiento por su amistad y confianza, por su paciencia y explicación a la investigación y labor de asesorías a las dudas que se presentaba.

M.C. Fidel Maximiliano Peña Ramos en agradecimiento por su amistad y apoyo a esta meta, por su tiempo dedicado.

“La agricultura es la profesión propia del sabio la más adecuada al sencillo y la ocupación mas digna para todo hombre libre”.

Cicerón.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	vii
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
Objetivo General	14
Objetivo Específico	14
HIPOTESIS	14
1. REVISIÓN DE LITERATURA	15
1.1. Origen del género <i>Capsicum annum</i>	15
1.2. Importancia del género <i>Capsicum annum</i>	15
1.2.1. Importancia económica	15
1.2.2. Producción mundial	16
1.2.3. Producción Nacional.....	16
1.3. Características botánicas del chile serrano	17
1.3.1. Sistema radical	17
1.3.2. Tallo.....	18
1.3.3. Hoja	18
1.3.4. Flor	18
1.3.5. Fruto	19
1.3.6. Semilla.....	19
1.4. Clasificación taxonómica	19
1.5. Requerimientos Edafoclimáticos.....	20
1.5.1. Suelo	20
1.5.2. Temperatura	20
1.5.3. Luminosidad	20
1.5.4. Riego	20
1.5.5. Nutrición	21
1.6. Plagas y enfermedades del chile serrano	22
1.6.1. Principales plagas	22
1.6.2. Principales enfermedades	23
1.7. Hongos micorrízicos.....	24

1.7.1.	¿Qué son los hongos micorrízicos?	24
1.7.2.	Tipos de hongos micorrízicos.....	24
1.7.3.	Ectomicorrizas	25
1.7.4.	Endomicorrizas.....	25
1.7.5.	Simbiosis HMA-planta	25
1.7.6.	Uso de los HMA en la agricultura	26
2.	IV. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1.	Ubicación del Experimento	28
2.2.	Acondicionamiento del Terreno	28
2.3.	Acolchado	29
2.4.	Material Vegetal y Siembra	29
2.5.	Material Microbiológico e Inoculación	29
2.6.	Sistema de Riego y Fertilización	30
2.7.	Manejo del Cultivo	30
2.7.1.	Tutoreo	30
2.7.2.	Podas	30
2.7.3.	Control Fitosanitario	30
2.8.	Descripción de los Tratamientos.....	31
2.9.	Variables Agronómicas Evaluadas	32
2.9.1.	Altura de Planta.....	32
2.9.2.	Diámetro de Tallo	32
2.9.3.	Peso Fresco y Seco de Biomasa.....	32
2.9.4.	Rendimiento	32
2.10.	Variables de Calidad Evaluadas	32
2.10.1.	Firmeza	32
2.11.	Variables Bioquímicas Evaluadas.....	33
2.11.1.	Sólidos Solubles Totales	33
2.12.	Variables Microbiológicas Evaluadas	33
2.11.2.	Colonización de Raíz	33
2.13.	Análisis Estadístico.....	34
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1.	Colonización de raíz.....	40
3.2.	Desarrollo de planta.....	41

3.3. Acumulación de Biomasa Fresca.....	42
3.4. Acumulación de Biomasa Seca	43
3.5. Calidad de fruto dada en parámetros nutraceúticos.	44
3.6. Rendimiento.....	45
4. CONCLUSIONES	47
5. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales estados productores de chile serrano	17
Tabla 2. Taxonomía del chile serrano.....	19
Tabla 3. Las principales plagas que atacan al chile serrano	22
Tabla 4. Principales enfermedades que atacan al cultivo de chile con mayor importancia dentro del ciclo del cultivo.....	23
Tabla 5. Productos utilizados durante el periodo del cultivo de serrano Capsicum annum el híbrido F ₁ “Camino Real” en invernadero.	31
Tabla 6. Contenido de los tratamientos evaluados de chile serrano capsicum anum el híbrido F ₁ “Camino Real”.	31
Tabla 7. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en la colonización de raíz de chile serrano.....	35
Tabla 8. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en caracteres agronómicos en plantas de chile serrano.....	37
Tabla 9. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en los parámetros nutraceuticos y de calidad de las plantas de chile serrano. 38	
Tabla 10. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en el número de frutos y rendimiento de las plantas de chile serrano.	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del experimento	28
Figura 2. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en la colonización de raíz.	41
Figura 3. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en la altura de planta (A); y diámetro de tallo (B).....	42
Figura 4. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para peso fresco de planta (A); y raíz (B).	43
Figura 5. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para el peso seco de planta (A) y raíz (B).....	44
Figura 6. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para firmeza de fruto (A); y contenido de sólidos solubles totales (B).	45
Figura 7. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en rendimiento.	46

RESUMEN

La producción de chile serrano (*Capsicum annum*) ha aumentado su demanda por el consumo de la población, y así mismo la demanda de fertilizantes inorgánicos. Es por eso que en la actualidad el uso de microorganismos está siendo un auge dentro de la producción agrícola ya que se promueve una agricultura sustentable mediante el aprovechamiento de microorganismos benéficos como los hongos micorrizicos arbusculares HMA, capaces de mejorar de las condiciones físicas y bioquímicas del suelo, salinidad en las plantas, aprovechamiento de nutrición. El motivo del presente trabajo fue realizar una evaluación de los efectos agronómicos y bioquímicos al inocular consorcios de HMA en las plantas de chile serrano (*Capsicum annum*) el híbrido F₁ "Camino Real" en invernadero. El experimento se desarrolló a siembra directa con acolchado plástico y un sistema de riego por goteo, la inoculación de HMA fue manual. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, colonización de raíz, peso de biomasa fresca y seca de planta y raíz, firmeza, °Brix en fruto y rendimiento. Los tratamientos utilizados para esta investigación estaban compuestos por el: T1 testigo químico, T2 C2-GEC, T3 C3-PAR, T4C8-MUZ, T5 MIX y T6 producto comercial Rhizotech. La inoculación del consorcio de HMA fue en el trasplante colocando en la rizosfera de las plántulas 50 g de cada consorcio. Los datos se analizaron estadísticamente para obtener la varianza y comparación de medias con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico SAS. Con la fertilización al 100% y con el consorcio C2-GEC destacaron las variables: colonización de raíz, peso fresco de raíz, peso seco de planta, raíz y rendimiento, mientras que el tratamiento MIX de los consorcios C2-GEC, C3-PAR, C8-MUZ con una fertilización al 100% destacaron las variables: altura de planta, diámetro de tallo, firmeza y °Brix de fruto y con la fertilización 100% con el consorcio C8-MUZ destacó la variable peso fresco de planta. La aplicación de HMA en la producción de chile serrano puede significar una alternativa viable para su uso como agente biológico.

Palabras claves: *Cpsicum annum*, biofertilizantes, microorganismos.

INTRODUCCIÓN

Una de las hortalizas con mayor incremento de consumo es el chile serrano (*Capsicum annum.*), por su alto consumo a nivel mundial y nacional. Es el segundo cultivo más importante de las hortalizas a nivel mundial. En el año 2020 se alcanzó una producción mundial de 36, 771,482 toneladas, dentro de los países productores de chile verde a nivel mundial, china es el primer país con mayor producción a seguido de México en el año de 2018 (FAOSTAD, 2020). En este mismo año México obtuvo una producción anual de un promedio de 3,238 toneladas (SIAP, 2020), con un rendimiento de un 12.3% kg/m² y un 1.8% kg/m² en campo abierto. México ocupa el segundo lugar en producción de chile en 2018 con un 9.19% (FAOSTAT, 2020).

En México tiene una extensa diversidad genética de chile verde con más de 40 variedades. El chile aporta un 20.2 % en la producción y a nivel mundial México ocupa el noveno lugar como productor y octavo en exportador de alimentos (SIAP 2020).

Una de las alternativas para el incremento de la producción agrícola sustentable es el uso de hongos benéficos para la planta. Las micorrizas arbusculares tienen a asociarse con la planta y existe una interacción con los microorganismos. Por medio de esta interacción de simbiosis facilita la absorción de nutrientes a la planta, con la finalidad de reducir agroquímicos tóxicos y obtener productos más sanos y sustentables para el ambiente (Suarez, 2017).

Objetivo General

Determinar la respuesta de plantas de chile serrano variedad Camino Real F1 a la inoculación de hongos micorrízicos nativos y dos niveles de fertilización química.

Objetivo Específico

Evaluar la respuesta en caracteres agronómicos en plantas de chile serrano mediante la inoculación de hongos micorrízicos nativos y dos dosis de fertilización.

Determinar características bioquímicas y de calidad en frutos de chile serrano mediante la inoculación de hongos micorrízicos nativos y dos dosis de fertilización.

Evaluar la colonización de raíz en plantas de chile serrano mediante la inoculación de hongos micorrízicos nativos y dos dosis de fertilización.

HIPOTESIS

Al menos un tratamiento aplicado como biofertilizante y una dosis de fertilización tendrán efecto positivo en los caracteres agronómicos y bioquímicos en chile serrano.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Origen del género *Capsicum annum*.

El género *Capsicum annum* es originario de América tropical principalmente de la zona montañosa de Puebla e Hidalgo por eso el nombre de chile serrano. En México se domesticó y es donde actualmente se encuentra su origen y diversidad de variedades (SIAP 2019).

Dentro de sus 27 especies, de las cuales solo cinco de ellas su consumo es en fresco y especias: *Capsicum annum* L., *Capsicum chinense* Jacq. *Capsicum frutescens* L., *Capsicum baccatum* L. y *Capsicum pubescens* R. (Ibiza et al. 2012).

1.2. Importancia del género *Capsicum annum*

1.2.1. Importancia económica

El cultivo del chile es de gran importancia en México, debido a que nuestro país se considera como centro de origen de algunas especies, identificándose una gran diversidad de tipos que se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio nacional (Chew et al., 2008). Es uno de los cultivos hortícolas de mayor impacto para el desarrollo económico y social a nivel nacional. Además de su valor como producto, nuestro país se distingue no solo por tener la mayor diversidad de chiles en el mundo, si no por su cultura y su tradición en su consumo, además de que es muy apreciado dentro de la dieta de los mexicanos, ya sea como consumo en fresco o industrializado (Anguiano, 2010).

El fruto no solo es un condimento dentro de la alimentación si, no que también es considerado el vegetal con mayor concentración de ácido ascórbico; y en fresco contiene el doble de vitamina C que la naranja y el limón y en seco contiene vitamina A en una proporción mayor que las zanahorias. El chile tiene varios beneficios para la salud de acuerdo con su composición, es un alimento rico en fibra y antioxidantes posee una sustancia llamada capsaicina que actúa como antibiótica analgésica y estimulante de la mucosa gástrica y de la vesícula biliar (Anguiano, 2010).

1.2.2. Producción mundial

A nivel mundial el chile es una de las principales hortalizas cultivadas siendo de las hortalizas dentro de la canasta básica, con una producción de 36, 771,482 toneladas (FAO STAT, 2020).

Dentro de los países productores de chile verde, china se destaca como como el país con mayor producción en 2018 a nivel mundial con el 49.45% de la producción, seguido por México como el segundo país con un 9.19%, Turquía (6.95%), Indonesia (6.91%), y España con (3.47%), son los 5 países más importantes en cuanto a la producción de chile con un porcentaje de 75% de producción mundial (FAO STAT, 2020).

1.2.3. Producción Nacional

Es uno de los cultivos hortícolas de mayor impacto para el desarrollo económico y social a nivel nacional. Además de su valor como producto, nuestro país se distingue no solo por tener la mayor diversidad de chiles en el mundo, sino porque es cultural y tradicionalmente importante al consumo popular, además de que es muy apreciado dentro de la dieta de los mexicanos, ya sea como consumo en fresco o industrializado (Anguiano, 2010).

SIAP (2020) reporta un rendimiento promedio en la agricultura protegida de 12.3% kg/m² y para campo abierto con un promedio de 1.8 kg/m² en el año 2019. En México incremento la producción del chile esto se debe por el desarrollo de la industria de horticultura protegida (invernaderos, macro túneles, casas sombra) para su mejor manejo agronómico, sanitario, nutricional e inocuidad permitiendo I

El chile (*Capsicum annuum* L.) una especie que, tenido un aumento de demanda de consumo en los últimos años, la población ha consumido este fruto como condimento, como el chile morrón o dulce, aumento el consumo de chile picante en los platillos. México se suma a un país de demanda a la producción de chile verde.

Tabla 1. Principales estados productores de chile serrano

RANK	ENTIDAD FEDERATIVA	VOLUMEN EN (TONELADAS)
1	Sinaloa	757,769
2	Chihuahua	682,085
3	Zacatecas	450,099
4	San Luis Potosí	323,142
5	Sonora	192,365
6	Jalisco	156,575
7	Guanajuato	133,146

SIAP (2020)

1.3. Características botánicas del chile serrano

1.3.1. Sistema radical

Su sistema radicular pivotante y profundo, esta puede medir de 70 a 120 cm; pero la mayoría de la raíz es de una profundidad de 5 hasta 40 cm y muchas ramas ascendentes extendidas (Hernández, 2016).

El chile habanero como todas las especies del género *Capsicum*, poseen una raíz principal pivotante y un sistema radicular bien desarrollado, cuyo tamaño depende de la edad de la planta, las características de suelo y las prácticas de manejo que se le proporcionen; puede alcanzar longitudes mayores a los 2 m (Dzul, 2001).

1.3.2. Tallo

Se consistencia es herbácea y crecimiento erecto, pubescentes con pelos incurvados cuya longitud puede variar de 0.5 a 1.5 cm, cuando las plantas adquieren cierta edad son de color verde oscuro (Hernández, 2016).

Hay dos fases de tallo dentro de morfología:

La primera el tallo principal se desarrolla a partir de la plúmula del embrión. Esta consta de un eje, el picoto, y presenta en el extremo superior una región de intensa división celular, el meristemo apical. En esta región empiezan a desarrollarse los primordios foliares.

La segunda, se produce una división en todos los órganos de la planta, iniciándose el desarrollo de los tejidos secundarios de la planta. El punto de partida es la ramificación del tallo, cuando la plántula ha alcanzado una altura de 15 y 20 cm (Hernández, 2016).

1.3.3. Hoja

Las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada, miden de 1.5 a 12 cm de largo y de 0.5 a 7.5 de ancho. El ápice es acuminado, la base de las hojas es cuadrada o aguda y el pedicelo es de largo o poco aparente. Las hojas pueden presentar o no vellosidad.

1.3.4. Flor

Las flores son hermafroditas con un alto porcentaje de polinización dependiendo de las condiciones climáticas generalmente las flores son de una sola flor con forma de ramificación, son perfectas formándose en las axilas de las ramas estas pueden ser de color blanco o purpura (Hernández, 2016).

Las flores están unidas al tallo por un pedúnculo o pedicelo de 10 a 20 mm de longitud. Cada flor está constituida por un eje y apéndices foliares que forman las partes florales. Las cuales son: el cáliz, constituido por 5 -8 sépalos, la corola formada por 5 -8 pétalos, el androceo por 5- 8 estambres y el gineceo por 2-4 carpelos (Hernández, 2016).

1.3.5. Fruto

Los frutos son de forma alargada, rectos o ligeramente encorvados o forma cónica con punta roma y redondeando, tiende de 2 a 10 cm de longitud con cuerpos cilíndricos y epidermis lisa, presenta de 2 a 3 lóculos; su color es verde oscuro y consistente crujiente inmaduro; el sabor es picante (Hernández, 2016).

Capsicum tiene 4 partes principales que son: el pericarpio, placenta, semillas y tallo. El pericarpio es la capa externa, delgada, el mesocarpio es una capa intermedia y carnosa y el endocarpio es la capa interior y de consistencia leñosa (Hernández, 2016).

1.3.6. Semilla

Las semillas tienen una dimensión de 2 a 3 mm es muy pequeña de color blanco claro, y se va tiende a ser pardo amarillento con el paso del tiempo. (Lesur, 2006).

1.4. Clasificación taxonómica

Taxonomía

Tabla 2. Taxonomía del chile serrano

Reino: Vegetal

Sub reino: Embriobionta

División: Magnoliophyta

Sub-division: Magnoliopsida

Clase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: solanaceae

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum*

Deker (2011)

1.5. Requerimientos Edafoclimáticos

1.5.1. Suelo

El cultivo de chile se adapta a diferentes tipos de suelo, pero prefiere suelos profundos de 30 a 60 cm de profundidad de suelos; francos arenosos, francos limosos o francos arcillosos con contenido de materia orgánica, suelos con un buen drenaje. EL pH del suelo que requiere el chile es de 6.5 a 7.0 ya que si no está en este rango es necesario hacer una corrección al intervalo necesario ya que afecta a la disponibilidad de nutrientes para el cultivo y la asimilación de fertilizantes especialmente cuando los nutrientes sean de origen nitrogenado (Villa, 2014).

1.5.2. Temperatura

La temperatura influye en el crecimiento y metabolismo de las plantas, además de determinar los procesos de fotosíntesis, respiración y acumulación de azúcares y almidones, también está relacionada con la germinación de semilla. El cultivo de chile necesita de una temperatura media de 24.5°C, con una mínima de 10°C, con temperaturas superiores a los 35°C, en fructificación es muy débil o nula eso sobre todo si el aire es seco. Dentro de las variedades de chile que toleran esta temperatura están: ancho, serrano, y jalapeño (Infoagro, 2003).

1.5.3. Luminosidad

El chile es muy exigente en cuanto a la luminosidad en las primeras etapas del ciclo del cultivo y en la etapa de floración. es una hortaliza que se considera de día largo de acuerdo con las horas luz que ocupa por eso es recomendado establecer a una altitud de 0 -2700 m sobre el nivel del mar (Guenkov, 1983).

1.5.4. Riego

El riego en esta hortaliza es muy importante ya que dentro de la planta constituye el 80 a 95 % de su masa dentro de los tejidos de crecimiento. En condiciones protegidas se encontró que al regar con una lámina de 60 % de la HA (humedad aprovechable) aplicada tres veces por semana, se obtuvo la mejor condición hídrica

de la planta, 55 % más de área foliar, 44 % más de biomasa total y 84 % más de rendimiento de fruto, que con 20 % de HA (Quintal *et al.*, 2012).

Las plantas absorben agua por las raíces junto con los nutrientes; utilizan el agua en la fabricación de carbohidratos durante la fotosíntesis y el transporte de nutrientes. El suelo debe de estar húmedo con una lámina de riego de 900 y 1200 mm para el ciclo del cultivo desde el trasplante a la producción (Meléndez, 2018).

1.5.5. Nutrición

La cantidad de nutrientes que requiere incorporarse al cultivo depende de la disponibilidad de nutrientes que se encuentran en el suelo y la etapa fenológica que se encuentra la planta (Prado, 2006)

Capsicum una hortaliza exigente en nutrientes en: potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y fosforo. Para la producción de una hectárea el requerimiento nutricional es de: 250 kg de N, 100 kg de P, 300 kg de K, 200 kg de C, 100 kg de Mg, en todo el ciclo del cultivo de producción (Prado, 2006).

Los nutrientes que la planta de chile requiere depende de la cantidad de fruto y materia seca que produce, esta depende por los factores genéticos y ambientales, la cantidad de nutrientes que ocupa para producir una tonelada de fruto seco se requiere de 3 a 4 kg de N, 0.7 a 1.0 kg de p y 4 a 6 kg de K (Catalán, *et al.* 2007).

1.6. Plagas y enfermedades del chile serrano

1.6.1. Principales plagas

Principales plagas que atacan al chile serrano y un impacto económico en pérdidas económicas, dentro de la producción.

Tabla 3. Las principales plagas que atacan al chile serrano

Plaga	Nombre científico	Daños
Araña roja	<i>Tetranychus urticae</i>	Decoloraciones o manchas amarillentas en el envés de las hojas
Araña blanca	<i>Poliphagotarsonemus latus</i>	Rizado de los nervios en las hojas apicales y brotes.
Mosquita blanca	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaco</i>	Al absorber la savia de las hojas ocasionan amarillamiento y debilitamiento de la planta.
Pulgón	<i>Myzus persicae</i>	Al alimentarse succionan savia e inyectan una saliva toxica que provoca enrollamiento de las hojas.
Minador de la hoja	<i>Liriomyza spp</i>	

Villa, (2014)

1.6.2. Principales enfermedades

Las enfermedades que atacan al cultivo de chile con mayor importancia dentro del ciclo del cultivo son los diferentes virus, hongos y bacterias los cuales atacan diferentes órganos de la planta.

Tabla 4. Principales enfermedades que atacan al cultivo de chile con mayor importancia dentro del ciclo del cultivo

Enfermedad	Nombre Científico	DAÑOS
Mancha bacteriana	<i>Xanthomona vesicatoria</i>	Manchas acuosas circulares en las hojas.
Marchitez	<i>Phytophthora capsici</i>	Marchitamiento general o parcial de la planta.
Marchitez o pudrición	<i>Rhizoctonia solani</i>	Estrangulamiento y necrosis del tallo a nivel de cuello en plantas recién emergidas.
Fumagina	<i>Capnodium spp</i>	Capa de hollín oscuro que interrumpe el proceso de fotosíntesis en las hojas.

(Villa, 2014)

1.7. Hongos micorrízicos

1.7.1. ¿Qué son los hongos micorrízicos?

En el suelo existen diversos tipos de hongos benéficos a las plantas, tanto en ecosistemas como en la agricultura, el hongo que establece una simbiosis con las plantas conocidas como micorrizas, estos hongos colonizan las raíces sin daño alguno a las plantas, desarrollando una red de hifas benéficas externas que se extiende y ramifica al suelo (Bera *et al.* 2016)

El termino micorriza es usado para describir el proceso simbiótico que se origina al existir una infección de las hifas de hongos en las raíces de las plantas, esta simbiosis tiene grandes beneficios para las dos partes ya que existe un intercambio de sustancias que necesitan para su desarrollo de estas. Las plantas se benefician de los hongos ya que esto le sirve como nexo entre las raíces de las plantas y el suelo y lo proveen de mayor volumen de exploración y de mejor absorción de nutrientes como el P. Los hongos también producen exudados capaces de mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo por lo que es útil para la conservación de suelos (Ruark, 2016).

El uso excesivo de fertilizantes ha disminuido la población de hongos nativos debido a las malas prácticas agrícolas como la fumigación y fertilización excesiva en las producciones agrícolas. El inoculo de micorrizas genera beneficios económicos, porque se obtiene una producción más uniforme y acelerada, mejorando la calidad de cosecha y disminuyendo el uso de agroquímicos y cantidad de agua de riego (Garzón, 2016).

1.7.2. Tipos de hongos micorrízicos.

Los diferentes tipos de micorriza presentes en el suelo se distinguen por su morfología. La clasificación se basa principalmente por la relación hongo-planta, se distinguen cinco grupos de micorrizas basados en criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos tanto de plantas como de los hongos (Lira, 2017).

1.7.3. Ectomicorrizas

Este tipo de micorriza está formada por dos tipos de hongos, los Basidiomicetes y Ascomicetes. La unión de estas se desarrollan una capa de micelio en la parte cortical de las raíces nutricias de las plantas formando una red. Este tipo de micorriza es muy común en especies de tipo forestal y leñosas (Gómez, 2019).

1.7.4. Endomicorrizas

En los hongos endomicorrizas las hifas del hongo penetran principalmente entre las células del córtex de la raíz. En este tipo de hongo no forma mando ni red de Harting. Si no que crecen para formar estructuras denominadas vesículas y arbusculos. Estos hongos se desarrollan comúnmente gramíneas (Gómez, 2019).

Las endomicorrizas se dividen en tres grupos:

Orquideomicorrizas: que pertenecen a la familia de las orquídeas. Estas forman ovillos en las células de la raíz de las plantas.

Ericomicorrizas: estas son ligadas a la familia ericácea, estas forman una estructura compacta entre las células del hongo y las raíces.

Micorrizas arbusculares: es la asociación hongo-raíz más extendida formada por ciertos zigomicetos, los cuales no desarrollan la red de Harting y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas arbusculos, que actúan como órgano de intercambio de nutrientes entre el hospedero y huésped (Sánchez *et al.*, 2016).

1.7.5. Simbiosis HMA-planta

La interacción microbiológica está relacionada con la fertilidad del suelo, la sanidad vegetal y con la productividad de los cultivos. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecientes al filo Glomeromycota es un componente ubicuo de la mayoría de los agroecosistemas naturales. Estos hongos se asocian con la mayoría de los cultivos proporcionando varios veneficios entre ellas la mejor nutrición y una mayor tolerancia a diversas condiciones bióticas y abióticas (Priyadharsini, 2016).

El hongo coloniza la corteza radicular y forma estructuras intracelulares llamadas arbusculos. Estas estructuras tienen un intercambio de nutrientes entre ambos

miembros de la simbiosis. Para ello las hifas extracelulares del hongo forman una red que se extiende por el suelo, alcanzando los lugares que se encuentran fuera de la zona más escasa de nutrientes. Y de esta manera se mejora el suministro de nutrientes inorgánicos a la planta, especialmente nitrato y fosfato (Smith, 2011).

La formación de AM facilita la colonización de la planta en el medio que se encuentra, además la micorriza influye en la fisiología de la planta y en la estructura del suelo, así como en diversos del medio, como la diversidad de plantas, el ciclo nutritivo y la productividad de un ecosistema (Song *et al*, col (2015)

El proceso de desarrollo de la micorriza genera alteraciones morfológicas, fisiológicas y anatómicas en la planta que le permitirá adaptarse a la colonización del hongo. Estos cambios se notan en la biomasa entre el tallo y la raíz, cambios en la estructura radical, aumento en el número de cloroplastos, mayor lignificación, cambios enzimáticos y hormonales (Camarena, 2012).

La colonización micorrízica es influenciada por la especificación de los hongos, ya que existe una asociación preferencial con las plantas. Ya que estudios realizados han encontrado diferencias en el crecimiento y productividad de las plantas asociadas con diferentes especies de hongos formadoras de micorrizas arbusculares (Roldan, 2012).

1.7.6. Uso de los HMA en la agricultura

Estudios recientes establecen que el desarrollo de las micorrizas es favorable es más favorable cuando se selecciona una variedad adecuada, la humedad y materia orgánica (MO) del suelo, mientras que el uso de fertilizantes altos en P y N reducen la infección del hongo en la raíz y la población de esporas en el suelo. El alto contenido de estos fertilizantes puede llegar a inhibir el crecimiento del hongo en las plantas por lo que se ha sugerido reducir la fuente de P en la fertilización y añadir inóculos de micorrizas en la siembra, esto con la finalidad de obtener productos más sanos y sustentables (Suarez, 2017).

Los hongos micorrízicos proporcionan grandes beneficios: en la supervivencia de las plántulas, un mayor crecimiento en menor tiempo, en viveros, ahorro de

fertilización y una mayor producción y calidad de fruto. Estos hongos son simbioses obligados, lo cual estas no pueden completar su ciclo biológico en ausencia de su planta hospedera y requiere estar asociados a la raíz para obtener carbohidratos provenientes de la fotosíntesis (Viera Campaña, 2017).

Debido a las propiedades de fertilizantes y protectoras de la micorriza que se han determinado, esta se ha convertido en un organismo importante de investigación como la alternativa del uso de fertilizantes y pesticidas químicos, con el objetivo de llevar a una agricultura más sostenible (Jung *et al.*, 2012) Varios estudios realizados dicen que las plantas micorrizadas presentan una mayor tolerancia a estreses abiótico, como la sequía, la salinidad o la presencia de metales pesados, así como el estrés biótico. La micorriza contribuye para superar los diversos estreses que presenta una planta es por lo cual la presencia de esta simbiosis durante la evolución, incluso en aquellos casos donde la unión no otorga beneficios en el crecimiento (García, 2016).

A pesar de que los Hongos Formadores de Micorrizas Arbuscular (HFMA) establecen simbiosis con la mayoría de las plantas de interés agrícola, hay estudios que la comunidad de hongos del suelo estimula el crecimiento de determinadas especies de plantas, por lo cual generan una presión selectiva dentro del grupo de (HFMA) presentes en el suelo (Alguacil, 2012). Horton (2015) dice que los hongos pueden seleccionar los compuestos de carbono de raíces de diferentes plantas, también se ha demostrado que diferentes especies de HFMA tienen la capacidad de influir en la composición del ecosistema.

2. IV. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del Experimento

El proyecto fue realizado en un área experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) situada al sur de la ciudad de Saltillo con las siguientes coordenadas: 25°21'12.8" latitud Norte y 101°01'47.8" longitud oeste (Figura 1), con altitud es de 1742 metros sobre el nivel del mar.



Figura 1. Ubicación del experimento

2.2. Acondicionamiento del Terreno

Se realizó una limpieza dentro del invernadero además de un barbecho y rastreo manual para tener buena estructura del suelo.

Se revolvió el suelo entre 30–40 cm de profundidad con la finalidad de exponer a las distintas plagas y enfermedades, así como el mejor aprovechamiento de agua, se eliminaron malezas, restos de plásticos de acolchado terrones y raíces etc.

Se solarizaron las camas con un plástico especial traslúcido, el tiempo fue de 25 días esperando contar con temperaturas suficientemente altas para cumplir el objetivo de eliminación de microorganismos patógenos.

2.3. Acolchado

Se cerraron las camas y se colocó un acolchado plástico de color negro-plata con la finalidad de disminuir la competencia de malezas además de retener la humedad en el suelo.

2.4. Material Vegetal y Siembra

Se utilizó semillas de chile serrano el híbrido “Camino Real F1” de la casa comercial Harris Moran, las cuales fueron proporcionadas por el Ing. Domingo Cabrera Cortes, la siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, el trasplante en invernadero se dio cuando las plantas mostraron hojas verdaderas y una altura aproximada de 15 cm; el establecimiento fue a doble hilera con 40 cm entre plantas y 100 cm entre surcos.

2.5. Material Microbiológico e Inoculación

Se utilizaron inóculos en consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) proporcionados por el Laboratorio de Microbiología del Departamento de la UAAAN los cuales estaban catalogados de la siguiente forma: C2-GEC (*Glomus* sp.1, sp. 2, sp. 3, *Claroideoglomus* sp. 1, *Acaulospora* sp. 1, sp. 2 y *Gigaspora* sp. 1.); C3-PAR (*Acaulospora* sp.1, sp. 2, sp. 3, sp. 4 y *Glomus* sp. 1.) y C8-MUZ (*Acaulospora* sp.1, sp. 2, y *Glomus* sp.1, sp.2.). La inoculación se realizó de manera directa al momento del trasplante, añadiendo 50 g de inóculo con cada consorcio de HMA en la rizósfera de cada plántula.

2.6. Sistema de Riego y Fertilización

La manera del suministro de agua de riego en las plantas fue mediante un sistema de riego por goteo de forma continua con un caudal en los emisores de 1L ha^{-1} , los emisores tenían 30 cm de espaciamiento. Se aplicó solución Steiner a diferente dosis de concentración (50 y 100 %) debido a que los HMA proporcionan los nutrientes necesarios del medio rizosférico.

2.7. Manejo del Cultivo

2.7.1. Tutorado

Las plantas fueron tutoradas con hilo rafia color negro, 30 días después del trasplante, con el objetivo de mantener la planta erecta y un fácil manejo de la misma.

2.7.2. Podas

Después de 45 días de trasplante, las plantas presentaron una alta densidad de follaje por lo cual se realizaron aclareos de hojas viejas situadas en la parte baja con la finalidad de evitar los problemas fitosanitarios.

2.7.3. Control Fitosanitario

La eliminación de malezas se hizo de manera manual; se realizaron aplicaciones preventivas y de control para las principales plagas y enfermedades del cultivo, se realizaron aplicaciones orgánicas y químicas (Tabla 5).

Tabla 5. Productos utilizados durante el periodo del cultivo de serrano *Capsicum annum* el híbrido F₁ “Camino Real” en invernadero.

Nombre del producto	Categoría	Período de aplicación	Volumen de agua MI L ⁻¹
Chaneem (extracto de chile, neem y canela)	Insecticida	1 vez por semana	20
Actara (tiаметoxam)	Insecticida	1 vez por semana	1.5
Confidor (imidacloprid)	Insecticida	1 vez por semana	1.5

2.8. Descripción de los Tratamientos

Tabla 6. Contenido de los tratamientos evaluados de chile serrano *Capsicum annum* el híbrido F₁ “Camino Real”.

Descripción		
Dosis de fertilización	50 % solución Steiner y	100% solución Steiner
Tratamientos		
T1	Testigo (sin inocular HMA)	
T2	C2-GEC	
T3	C3-PAR	
T4	C8-MUZ	
T5	MIX (C2-GEC, C3-PAR, C8-MUZ)	
T6	Producto comercial Rhizotech	

2.9. Variables Agronómicas Evaluadas

2.9.1. Altura de Planta

El procedimiento consistió en medir desde la base del tallo hasta la punta apical (cm) con una cinta métrica (marca Truper).

2.9.2. Diámetro de Tallo

Para el grosor del tallo se tomó la parte baja de la planta. La medición (mm) se usó con el vernier digital (marca Steren modelo Her-411).

2.9.3. Peso Fresco y Seco de Biomasa

Se pesó la raíz y la parte aérea de la planta, posteriormente se colocaron en bolsas de papel estraza y se mantuvieron en una estufa de secado a 65° C durante 48 horas, trascurrido el tiempo se obtuvo el peso seco con una báscula semi analítica (marca Ohaus, modelo Cs).

2.9.4. Rendimiento

Se pesaron los frutos por planta por tratamiento con una báscula semi analítica (marca Ohaus, modelo Cs).

2.10. Variables de Calidad Evaluadas

2.10.1. Firmeza

Se utilizó un penetrómetro manual (marca Qa Suplies) con puntilla de 7.5 mm, se coloca la puntilla presionando en la zona central, según el grosor de la cutícula se opta por quitar una capa con una navaja para luego limpiar y apoyar la puntilla a presión, los valores aparecen en el aparato y fueron registrados en kg para cada fruto.

2.11. Variables Bioquímicas Evaluadas

2.11.1. Sólidos Solubles Totales

Se midió con refractómetro electrónico (marca Hanna hi 96801), la actividad consistía en extraer 1 mililitro del jugo de pepino y colocarlo en el lector del refractómetro previamente limpiado con agua destilada, una vez usado se debe secar el lector con papel para evitar contradicciones en los datos, los resultados son arrojados automáticamente para cada muestra de fruto.

2.12. Variables Microbiológicas Evaluadas

2.11.2. Colonización de Raíz

La tinción de las raíces se realizó utilizando el método descrito por Phillips & Hayman, (1970), que consiste en el clareo con KOH al 10 %, acidificación con HCl al 10% y tinción de raíces con una solución colorante de Azul de Tripano al 0.05%. Posteriormente se elimina el colorante y se dejan las raíces en una solución de lactoglicerol. Una vez teñidas, se procede a cortar las raíces en segmentos y colocarlas en laminillas utilizando lactoglicerol. Se observan las raíces al microscopio óptico a 40X de aumento y se registra la frecuencia de las estructuras fúngicas micorrízicas (arbúsculos, vesículas o hifas) en las células corticales y segmentos de raíces.

Las raíces fueron analizadas bajo el lente 20X de un microscopio óptico compuesto, dividiendo a las raíces en tres campos ópticos observables, y a cada campo se lo diagnosticó como positivo si se observaba al menos una de las tres estructuras micorrízicas. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje aproximado de micorrización fue:

$$\% \text{ de micorrización} = \frac{\# \text{ campos con (Hifas, Arbúsculo, Vesículas)} * 100}{\# \text{ total de campos observados}}$$

La misma que fue establecida por McGonigle *et al.* (1990).

2.13. Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial donde el factor a: son los tratamientos con HMA y el factor b: las dosis de fertilización, con cuatro repeticiones. El programa estadístico utilizado para realizar análisis de varianza (ANVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La colonización de raíz tuvo significancia por las dosis de fertilización. Por su parte también fueron afectados significativamente por los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), así como la interacción entre estos factores (Cuadro 7). En una concentración del 100% de fertilización se obtiene la mayor colonización de raíz en comparación con un 50% de la fertilización.

Al agregar C-2GEC de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares se obtiene una mayor colonización de raíz en comparación de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares y en su ausencia.

Tabla 7. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en la colonización de raíz de chile serrano.

Dosis de fertilización (%)	Colonización de raíz (%)
50	44.83b
100	47.94a
ANVA P≤	.0001
Hongos Micorrízicos Arbusculares	
SIN HMA	10.50e
C2-GEC	61.33a
C3-PAR	42.33d
C8-MUZ	48.67c
MIX	61.17a
P. COMERCIAL	54.33b
ANVA P≤	.0001
Interacción P≤	.0001
CV (%)	4.29

Anova P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de tukey p≤ 0.5, interacción = Dosis de fertilización * hongos micorrízicos Arbusculares, CV = Coeficiente de variación.

La altura de la planta, peso fresco y seco de la misma, así como el peso seco de la raíz fueron afectados significativamente por la dosis de fertilización, mientras que el diámetro de tallo y peso fresco de raíz no fue afectado por este factor. Por su parte la altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de planta y raíz, peso seco de planta y raíz fueron afectados significativamente por los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), así como por la interacción entre estos dos factores (Cuadro 8).

En una concentración del 100% de la fertilización se obtiene mayor altura de la planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de la planta, así como peso seco de la raíz en comparación con un 50% de fertilización, mientras que el peso fresco de raíz se obtiene un rendimiento igual con una concentración de fertilización tanto con el 100% y con 50%. Al agregar un MIX de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se obtiene una mayor altura de planta, diámetro de tallo y peso fresco de raíz, mientras al agregar un C2-GCE se obtiene un mayor peso fresco de planta, peso seco de planta y peso seco de raíz, en comparación con la frecuencia de los diferentes tipos de hongos micorrízicos y en su ausencia. A si mismo al agregar C-2GEC de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares se obtiene una mayor colonización de raíz en comparación de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares y en su ausencia.

Tabla 8. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en caracteres agronómicos en plantas de chile serrano.

Dosis de fertilización (%)	de Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso fresco de planta (g)	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de planta (g)	Peso seco de raíz (g)
50	64.86b	15.72a	177.94b	56.61a	45.06b	9.44b
100	66.56a	15.76a	209.39a	56.94a	49.39a	10.00a
ANVA P≤	.0001	.9745	.0001	0.7029	.0001	.0214
Hongos Micorrízicos Arbusculares						
SIN HMA	62.00d	14.17c	172.50c	50.83c	39.83d	7.67c
C2-GEC	67.58b	16.60a	208.50a	61.00a	52.50a	11.83a
C3-PAR	66.50bc	15.25b	189.00b	53.50bc	46.67c	7.50c
C8-MUZ	65.50c	15.98ab	212.33a	57.83ab	51.17ab	11.00a
MIX	69.33a	16.80a	196.00ab	61.00a	48.50bc	11.17a
COMERCIAL	63.33d	15.55b	183.67bc	56.50ab	44.67c	9.17b
ANVA P≤	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
Interacción P≤	.0001	.0232	.0001	.0001	.0001	.0001
CV (%)	1.715	4.185	5.580	5.266	5.456	8.194

Anova P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de tukey p≤ 0.5, interacción = Dosis de fertilización * hongos micorrízicos Arbusculares, CV = Coeficiente de variación.

La firmeza y sólidos solubles totales fueron afectados significativamente por los factores de fertilización. Por su parte la firmeza y sólidos solubles totales fueron afectados significativamente por los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares, así como en su interacción (Cuadro 9). En una concentración del 50% de la fertilización se obtiene una mayor firmeza, sólidos solubles totales en comparación con un 100% de fertilización.

Al agregar un MIX de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares se obtiene una mayor firmeza, sólidos solubles totales en comparación con los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares.

Tabla 9. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en los parámetros nutraceuticos y de calidad de las plantas de chile serrano.

Dosis de fertilización (%)	Firmeza (kg)	Sólidos solubles totales (°Brix)
50	6.56a	4.94a
100	5.78b	3.63b
ANVA P≤	.0001	.0001
Hongos micorrízicos Arbusculares		
SIN HMA	5.67b	2.88c
C2-GEC	6.17b	4.033b
C3-PAR	5.85b	4.283b
C8-MUZ	6.07b	3.783b
MIX	7.02a	5.40a
P. COMERCIAL	6.25b	5.33a
ANVA P≤	.0001	.0001
Interacción P≤	.0267	.0001
CV (%)	6.74	10.30

Anova P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de Tukey p≤ 0.5, interacción = Dosis de fertilización * hongos micorrízicos Arbusculares, CV = Coeficiente de variación.

En rendimiento fueron afectados significativamente por los diferentes tipos de fertilización. Por su parte también fue afectado significativamente por los diferentes hongos micorrízicos arbusculares, así como la interacción entre estos dos factores (Cuadro 10). Al agregar un C2-GEC de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares se obtiene un mayor rendimiento en comparación con los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares.

Tabla 10. Efecto de las dosis de fertilización y tipos de hongos micorrízicos arbusculares en el número de frutos y rendimiento de las plantas de chile serrano.

Dosis de fertilización (%)	Rendimiento (g)
50	917.96b
100	990.89a
ANVA P≤	0.0001
Hongos Micorrízicos Arbusculares	
SIN HMA	874.5c
C2-GEC	1055.04a
C3-PAR	874.58c
C8-MUZ	950.69bc
MIX	966.17ab
COMERCIAL	975.46ab
ANVA P≤	.0001
Interacción P≤	.0001
CV (%)	5.86

Anova P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de tukey p≤ 0.5, interacción = Dosis de fertilización * hongos micorrízicos Arbusculares, CV = Coeficiente de variación.

3.1. Colonización de raíz

El efecto de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares en la colonización de raíz no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 1).

Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos MIX, C2-GEC con una fertilización al 100% así como el C2-GEC con un 50% de fertilización presentaron la mayor colonización de raíz, superando con un 475.76%.466.67% y 448.48% al testigo comercial único (Figura 2); esto demuestra que la inoculación de HMA incrementa potencialmente el grado de colonización que puede llegar a alcanzar los mismos, así como los beneficios posteriores que trae consigo esta simbiosis tal como menciona Quiñones-Aguilar *et al.* (2012).

Sin embargo, esto también puede ser evidencia de que a pesar de inocular especies hortícolas de interés con HMA, las condiciones climáticas, así como las características físicas, químicas y biológicas del suelo determinan la colonización que un Hongo Micorrízicos puede alcanzar en su hospedero (Pérez & Vertel 2010; Pérez *et al.* 2011) por lo que a pesar de haber inoculado los tratamientos con hongos micorrízicos arbusculares no se obtuvo el mismo grado de colonización puesto que incluso el manejo de un suelo afecta este proceso como es reportado por Sangabriel-Conde *et al.*(2010). De hecho, Quiñones-Aguilar *et al.* (2012), observó que el grado de colonización de la raíz de un hospedero está determinada por la disponibilidad de nutrientes tal como el caso del fósforo.

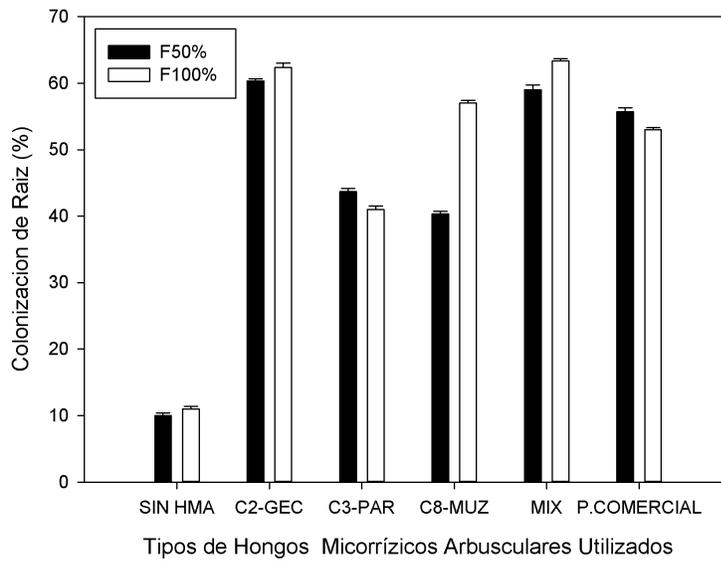


Figura 2. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en la colonización de raíz.

3.2. Desarrollo de planta

Para estas variables de respuesta evaluadas, se observó que los efectos de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares no están ligados a las diferentes dosis de fertilización (Figura 3A y 3B).

Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C2-GCE y producto comercial con una fertilización al 100%, así como el MIX con una fertilización al 50% presentaron la mayor altura de planta, superando en un 23.06%, 22.44% y 18.05% al testigo comercial único (Figura 3A). Mientras que las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C2-GEC, MIX con una fertilización al 50%, así como el MIX con un 100% de fertilización presentaron el mayor diámetro de tallo. Superando con un 16.22%, 12.84%, 14.19% al testigo comercial único (Figura 3B). Esto se puede deber a que las plantas que hacen simbiosis con microorganismos benéficos o biomejoradores tales como lo son los HMA tienden a presentar un mejor desarrollo y adaptación a los diferentes medios en los que se desarrollan gracias a su mejor absorción y transporte de minerales y nutrientes (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012).

Esto incluso en condiciones donde elementos como el fósforo es escaso (Barrera & Rodríguez (2010), por lo que incluso aplicando menos fertilización podemos observar un desarrollo superior de las plantas inoculadas con HMA en comparación con el testigo único tal como mencionan Kumar *et al.* (2010) y Heikham *et al.* (2019). Este efecto está reportado por Quiñones-Aguilar *et al.* (2019) quien observó un mayor desarrollo de raíz y de planta en papayas micorrizadas en comparación con aquellas que no lo estuvieron, al igual que Agüero *et al.* (2016) observó en el cultivo de albahaca.

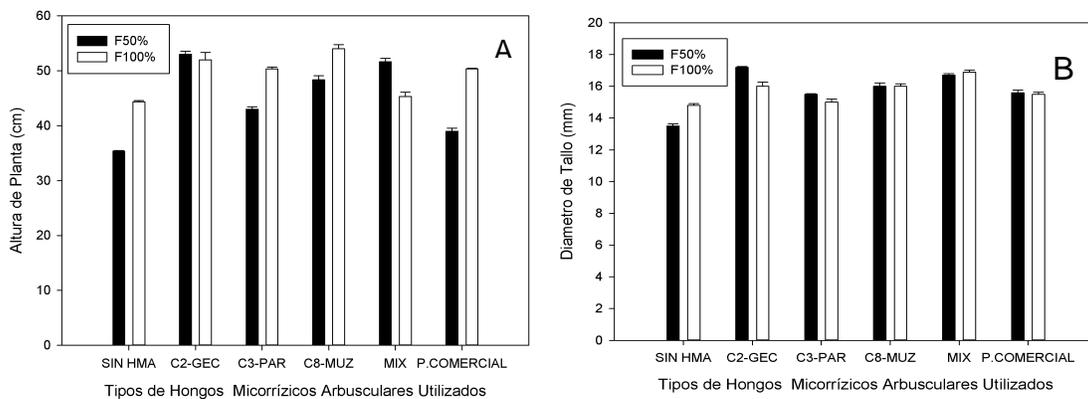


Figura 3. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en la altura de planta (A); y diámetro de tallo (B).

3.3. Acumulación de Biomasa Fresca

Para las siguientes variables de respuesta, se observó que el efecto de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 4).

Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos Muz, Producto comercial con una fertilización al 100% así como el C2-GEC con un 50% de fertilización presentaron el mayor rendimiento en el peso fresco de la planta. Superando con un 18.95%, 9.39% y 6.43% al testigo comercial único (Figura 4A). Así mismo las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C2-GEC, MIX con una fertilización

al 50% así como el Muz con un 100% de fertilización presentaron el mayor rendimiento en el peso fresco de raíz. Superando con un 18.18%, 14.77% y 2.84% al testigo comercial único (Figura 4B). Esto se puede derivar a un mayor desarrollo de las plantas en general, gracias a la micorrización, ya que el crecimiento y desarrollo de la planta que se traduce en biomasa fresca depende de la absorción y transporte de agua y nutrientes que las raíces puedan proporcionar, siendo incrementado esto por los HMA tal como menciona Simó-González *et al.* (2017), puesto que pueden ser más tolerantes a eventos de estrés tales como plagas y enfermedad, así como condiciones adversas como la escases de nutrientes en el medio de desarrollo (Maiquetía *et al.*, 2009; Camprubi *et al.*, 2011).

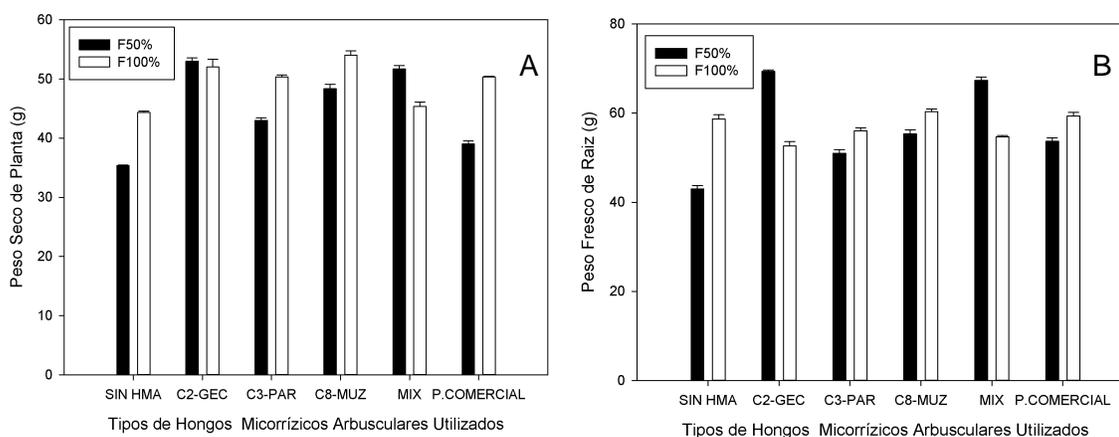


Figura 4. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para peso fresco de planta (A); y raíz (B).

3.4. Acumulación de Biomasa Seca

Para las siguientes variables de respuesta, se observó que el efecto de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 5). Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C8-MUZ, C2-GEC con una fertilización al 100% así como el C2-GEC con un 50% de fertilización presentaron el mayor rendimiento en el peso seco de planta. Superando con un 21.80%, 17.29% y 19.55% al testigo comercial único

(Figura 5A). Las plantas que fueron cultivados en los tratamientos MIX, C2.GEC con una fertilización al 50% así como Muz con un 100% de fertilización presentaron el mayor rendimiento en el peso seco de raíz. Superando con un 27.59%, 27.59% y 27.59% al testigo comercial único (Figura 5B). Lo observado anteriormente puede ser debido a que la materia o biomasa seca acumulada está determinada en gran parte por la materia fresca inicial (González *et al.* 2018). De hecho, estudios de Becquer *et al.* (2012) demuestran que las plantas micorrizadas de sorgo presentan mayor acumulación de biomasa seca, tal como se muestra en el presente trabajo.

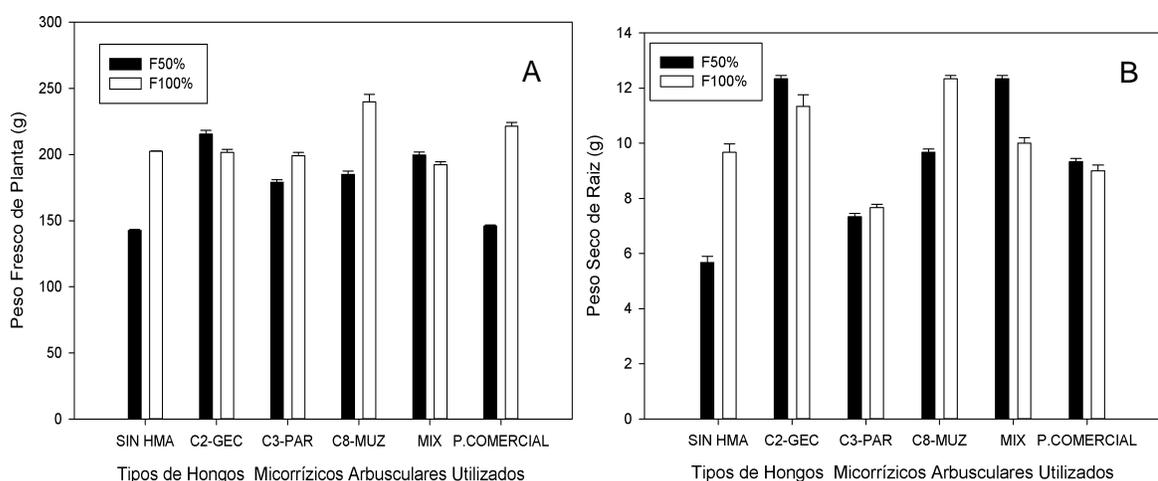


Figura 5. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para el peso seco de planta (A) y raíz (B).

3.5. Calidad de fruto dada en parámetros nutraceuticos.

El efecto de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares en la acumulación de sólidos solubles totales, así como la firmeza de fruto no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 6A y 6B).

Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos MIX, Producto comercial y C2-GEC con una fertilización al 50% presentaron el mayor rendimiento. Superando con un 33.53%, 23.53%, 15.29% al testigo comercial único (Figura 6A). Mientras que las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C2-GEC con un 50% de

fertilización, así como el Producto comercial, MIX con un 100% de fertilización presentaron el mayor rendimiento en solidos solubles totales. Superando 175.38%, 172.30% y 152.31% al testigo comercial único (Figura 6B). Esto demuestra que al tener una mayor colonización de raíz se obtiene un mejor desarrollo de planta, acumulación de biomasa y por ende frutos de mejor calidad según los parámetros establecidos según la productividad hortícola (Díaz *et al.*2013). Todo lo anterior debido a la promoción del crecimiento y nutrición de la planta, como resultado a la simbiosis Planta-HMA, tal como mencionan (Russo y Perkins, 2010; Díaz *et al.* 2013)

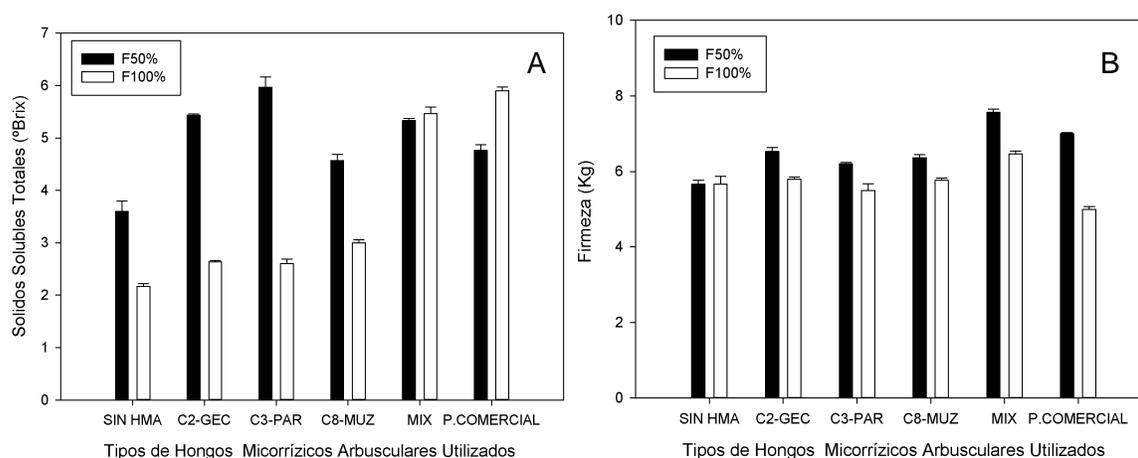


Figura 6. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA para firmeza de fruto (A); y contenido de solidos solubles totales (B).

3.6. Rendimiento

El efecto de los diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el rendimiento no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 7).

Las plantas que fueron cultivadas en los tratamientos C2-GCE, producto comercial con una fertilización al 100% así como el MIX con un 50% de fertilización presentaron el mayor rendimiento. Superando en un 23.06%, 22.44% y 18.05% al testigo comercial único (Figura 7). En la figura 7 en la variable de rendimiento se

observa que los tratamientos C2-GEC y el producto comercial con una fertilización al 100% y el MIX al 50% de fertilización fue donde se obtuvo el mayor rendimiento. Superando en un 15%, 20% y 22% al tratamiento sin HMA. Esto demuestra que los HMA promueven mayor rendimiento debido a los beneficios derivados de la simbiosis HMA-Planta, lo que se asocia con un incremento en la absorción de agua y nutrientes, Carpio et al. (2010). Esto demostrado con Díaz et al, (2013) en la inoculación de plantas de pimiento que promovía mayor peso de frutos en comparación con el testigo.

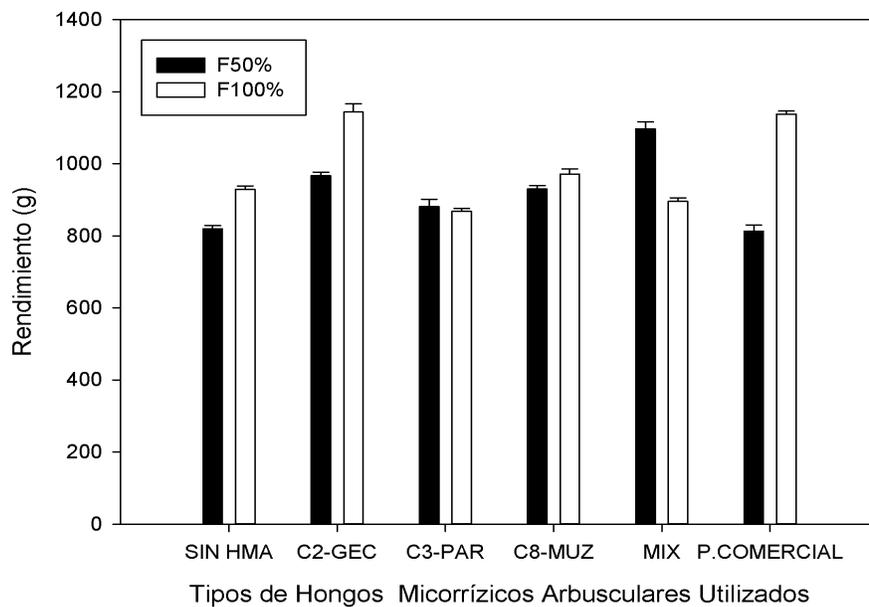


Figura 7. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en rendimiento.

4. CONCLUSIONES

Se recomienda para el cultivo de Chile Serrano el consorcio de HMA de General Cepeda por el incremento que produce en rendimiento y la mezcla de consorcios nativos de General Cepeda, Parras y Múzquiz como una tecnología alternativa para incrementar la eficiencia como biofertilizante ya que disminuyeron en un 50 % el fertilizante fosfatado, además de que mejoran el suelo agrícola.

5. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

- A, B. P. (2010). Mecanismos subyacentes a las interacciones beneficiosas entre plantas y hongos en la simbiosis micorrizica. *Nat Commun*, 1:48.
- Agüero F. Y. M., H. M. (2016). Agüero F. Y. M., Hernández M. L.G., Nieto Hongos micorrízicos arbusculares como agentes mitigadores del estrés salino por NaCl en plántulas de albahaca . *Nova scientia*, 60-86.
- Augé R. M., T. H. (2014). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCL stress: a meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 5:562.
- BARRERA BERDUGO, S. E. (2010). efecto de hongos micorrizicoss arbusculares en plantulas de *Elaeis guineensis* (Palmaceae) con alto nivel de fosforo en el suelo. *Acta biologica colombiana*, 105-113.
- Balota E. L., M. O. (2011). Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. *Plant Physiol*, 23(1):33-44.
- Bécquer C. J., S. B. (2012). Bécquer C. J., Salas B., Ávila U., Palmero L. A., Nápoles J. Efecto de la inoculación con rizobios procedentes de Sancti Spíritus, Cuba, en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), bajo condiciones de campo. *Pastos y Forrajes*, 57-66.
- Berdugo, S. E. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. . *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 123-132.
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 409-421.
- Camprubi A., E. V. (2011). Greenhouse inoculation of psammophilic plant species with arbuscular mycorrhizal fungi to improve survival and early growth. *Eur. J. . Soil Biol*, 194-197.
- Catalán V.E., M. V. (2007). Catalán V.E., M. Villa C., M. Inzunza I., I. Sánchez C., F. Mendoza M. y A. Román L. Fertilización y Riego del Cultivo de Chile en la Región Lagunera. *CENID-RASPA*, Folleto Técnico 9.
- Díaz F. A., A. C. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. . *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 315-321.

- Dzul, J. (2001). *Chile habanero características y tecnología de producción*. . Obtenido de INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). : <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3030/CHILEHABANEROcaracteris>
- E.Barrer. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura silvia e. barrer1 Facultad de Ciencias Agropecuarias 124 Vol 7 No. *Facultad de Ciencias Agropecuarias 124 Vol 7 No.1*, 124-128.
- FAOSTAT. (2020). *FAOSTAT. (12 de Julio de 2021). The statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado el 15 de Julio de 2021, de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/T/TP/>
- Gomez, C. F. (2019). Carlos Federico lira Gomez.(11 de juliode 2019)Ectomicorrizas y endomicorrizas: características principales.lifeder 4-10. *lifeder*, 4-10.
- Gomez, L. (lifeder). Ectomicorrizas y endomicorrizas: características principales.lifeder 4-10. 2019, 4-10.
- González Aguiar, D. Á. (2018). Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí - sorgo. *centro agricola*, 77-82.
- Heikham E., B. G. (2012). Contribution of Glomus intraradices inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCL-stressed Trigonella foenum- graecum. *Mycorrhiza*, 203-217.
- Heikham E., B. G. (2012). Ultrastructural evidence for MF mediated salt stress mitigation in Trigonella foenum-graecum. *Mycorrhiza*, 204-235.
- Heikham E., T. S. (2019). Mitigation of Salinity Strembiosis: Current Understanding and New Challenges. *Frontiers in plant science*, 470.
- Hernández Hernández, I. a. (2015). Efecto de micorrizas sobre la biomasa y rendimiento de tomate saladette (Lycopersicum esculentum). *en campo abierto en general cepeda, coahuila./lino hernández hernández*, 349.
- INIFAP. (2010). *Libro tecnico chile serrano*. Recuperado el 28 de Agosto de 2021, de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/854.pdf>
- Kumar A., S. S. (2010). Influence of Arbuscular Mycorrhizal (AM) Fungi and Salinity on Seedling Growth, Solute Accumulation, and Mycorrhizal Dependency of Jatropha curcas L.. *Plant Growth Regul*, 297-306.
- Lovera, M. &. (2021). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (hma) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, venezuela. . *Interciencia*, 108-114.

- Maiquetía M., A. C. (2009). Mycorrhization and phosphorus nutrition affect water relation and CAM induction by drought in seedlings of *Clusia minor*. *Ann. Bot.*, 525-532.
- McGonigle, T. P., & Swan, J. a. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *new phytol*, 495-501.
- Morell, F. H. (2009). La actividad de los hongos micorrizicos arbusculares en la estructura del suelo. *cultivos tropicales*, 30-34. Obtenido de cultivos tropicales: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400014&lng=es&tlng=es.
- Navarro J. M., P. T. (2014). Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. *Journal of plant physiology*, 76-85.
- Pérez C, A. &. (2010). Evaluacion de la colonizacion de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) ACamus. *Revista MVZ*, 2165-2174.
- Perez C, A. R. (2011). Hongos formadoras de micorrizas arbusculares: una alternativa biologica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *colombia de ciencia animal* , 366-385.
- Priyadharsini P., M. T. (2016). Interactions Between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Potassium-Solubilizing Microorganisms on Agricultural Productivity. In: Meena V., Maurya B., Verma J., Meena R. *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sust Agricultureainable*.
- Quiñones-Aguilar E. E., H. C. (2019). Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de *Agave* como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoamericana*, 37(2): 163- 174.
- Quiñones-Aguilar, E. E.-A.-E.-C. (2012). Interaccion de hongos micorrizicos arbusculares y fertilizacion fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*, 165-176.
- Quispe, M. M. (2017). *Efecto de los microorganismos eficaces y frecuencias de aplicación, en el rendimiento del cultivo de la Vid (Vitis vinifera L.) cv. Red globe {Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann}*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1874>
- Reyes, A. L. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*capsicum chinense* Jacq). *Agrociencia*, 285-294.

- Ruiz-Lozano, J. M. (2012). Regulation by arbuscular mycorrhize of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of experimental botany*, 4033-4044.
- Russo V. M., & P. (2010). Yield and Nutrient Content of Bell Pepper Pods from Plants Developed from Seedlings Inoculated, or Not, with Microorganisms. *HortScience horts*, 352-358.
- Sanchez C., M. (2001). Manejo de enfermedades del tomate in:curso del incapa "majeno integrado de plagas y enfermedades en tomate, chile y papa". *Guadalajara. Jalisco Mexico.*, 22-38.
- Sangabriel-Conde Wendy, T.-A. D.-E.-C.-C. (2010). potencial de colonizacion de hongos micorrizicos-arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de produccion. *Mex. Mic*, 165-176.
- Sarabia, M. M. (2010). Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones. . *Biológicas*, 65-71.
- SIAP. (2020). *Avance de siembras y cosechas resumen por estado*. Recuperado el 17 de Julio de 2021, de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Simó-González J. E., R.-M. L.-E. (2017). Inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y relaciones suelo pardo-abonos orgánicos en la aclimatización de vitroplantas de banano. *Cultivos Tropicales* , 102-111.
- Smith S. E., F. E. (2010). Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant Soil*, 326: 3–20.
- Viera, W. C. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Biagro*, 105-114.