

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto De La Interacción Entre Harina De Rocas y Hongos Micorrízicos
Arbusculares En El Crecimiento y Rendimiento De Las Plantas De Fresa cv.
Camino Real En Cultivo Sin Suelo

Por:

JUAN RAFAEL CARRANZA SACRAMENTO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto De La Interacción Entre Harina De Rocas y Hongos Micorrízicos
Arbusculares En El Crecimiento y Rendimiento De Las Plantas De Fresa cv.
Camino Real En Cultivo Sin Suelo.

Por:

JUAN RAFAEL CARRANZA SACRAMENTO

TESIS

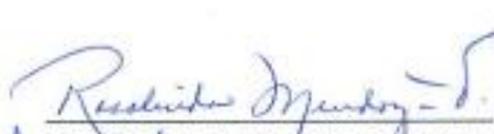
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal


M.C. Alfredo Sánchez López
Coasesor


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México
Septiembre, 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.



Juan Rafael Carranza Sacramento

DEDICATORIA

A mis padres y abuelos

Adela, Mauro, Nabora y Pedro, ya que sin ellos no habría sido posible haber concluido mi profesión como Ing. Agrónomo en Horticultura, su apoyo, confianza y fe en mi han sido fundamentales en la culminación de esta etapa en mi preparación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme concluir mis estudios profesionales, por haberme permitido convivir y conocer demasiadas personas increíbles, que me han acompañado a lo largo de mi preparación, con las que he vivido maravillosas e incontables experiencias al salir de casa y por guiarme en mi día a día a lo largo de mi formación.

A Mi Alma Mater:

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todas las oportunidades y herramientas que pusiste a mi alcance para conseguir el sueño que llegue buscando hace 5 años y más aún, gracias por hacer ese sueño realidad. Gracias por la formación profesional que me brindaste, por todas las enseñanzas, lecciones y experiencias que me ofreciste, han sido invaluable, gracias por permitirme formar parte de tu historia y por todo lo que me has dado.

A mi Familia

A mi padre Mauro Carranza y a mis abuelos Nabora y Pedro por todo su amor, apoyo, dedicación y esfuerzo por verme salir adelante. A mis hermanos Marcos y Manuel por su apoyo y su confianza. A mi primo Manuel por siempre creer en mí, por siempre apoyarme, motivarme y aconsejarme.

A mis tías, Luisa, Rosa e Isabel, por todo el apoyo obsequiado, por todas las palabras de aliento y ánimo brindadas, por todos los consejos y amor.

Por último, pero no menos importante. A mi madre, Adela Sacramento por el amor que me brindo y por el obsequio más grande que pudo darme, la vida.

A mis asesores de tesis

Dr. Armando Hernández Pérez

Gracias por su confianza y apoyo proporcionado en la realización de esta, sin su ayuda no hubiera sido posible, de no ser por sus enseñanzas y conocimientos brindados para mi formación, gracias por su tiempo, pero más aún por su amistad.

M.C. Alfredo Sánchez López

Gracias por las enseñanzas, experiencias y conocimientos obsequiados en el transcurso de mi preparación, gracias por haber sido mi maestro, tanto académica como personalmente y ser un pilar importante en mi formación profesional, pero más aún, gracias por sus consejos, su confianza, su apoyo y por creer en mí, pero sobre todo gracias por su invaluable amistad.

Al Internado Paraíso

En especial al cuarto 18, donde tuve la oportunidad de vivir experiencias increíbles junto a mis amigos que vivían en otros internados, por brindarme un lugar en tu interior para descansar después de estudiar, de ir a jugar, incluso después de trabajar, por albergarnos y presenciar las charlas entre amigos, que se comentaban los sueños por los que habían llegado a nuestra alma mater.

A mis compañeros y amigos

Por compartir parte de su vida, de su tiempo y de sus conocimientos conmigo, por las experiencias, anécdotas y vivencias a su lado, gracias por sus enseñanzas y por su amistad, les deseo todo el éxito y felicidad en esta nueva etapa que está por iniciar Fernando Lugo, Omar Quintana, Emmanuel Martínez, Karina Larios, Vicente Rivas, Paulina Almanza, Eduardo Toribio y Emmanuel Evangelista.

A Refugio Mondragón y a la Maestra Leticia Tolentino

Gracias por su amistad incondicional, por el apoyo que siempre me brindaron, por sus consejos y orientación, así como por preocuparse por mí. Me encuentro infinitamente agradecido por todas las veces que me ayudaron y me apoyaron sin que yo lo entendiera y no fuera lo suficientemente agradecido con ustedes, gracias por todo, ya que gran parte de quien soy y de hasta donde he llegado es gracias a ustedes. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no lo hacía.

Fernando Lugo Cano

Mucho que agradecerle querido amigo que no sé por dónde comenzar, que digo amigo, hermano, me alegra mucho haberte conocido desde que llegamos a nuestra Alma Mater, ya que desde entonces he contado contigo, gracias por tu apoyo y por toda la ayuda que me has brindado, por todas las anécdotas y vivencias buenas y malas que hemos compartido. Gracias por la amistad que me has ofrecido durante todos estos años y por estar cuando te he necesitado.

Omar Quintana Ocampo

Estimado amigo, muchas cosas que agradecerle, que no terminaría, por lo que seré breve, muchas gracias por el apoyo que siempre me has dado, por tu amistad, por todos los momentos y anécdotas que hemos pasado juntos, dentro y fuera de lo académico. Por todas las veces que nos quedamos a estudiar hasta tarde, por hacer más llevadero el tiempo de nuestra estancia en la universidad, gracias por todo amigo.

Emmanuel Martínez Romero

Tu amistad siempre ha sido algo de lo que estaré agradecido, al igual de todo lo que hemos convivido de todo lo que he aprendido de ti, de todas las vivencias y anécdotas que hemos pasado, que las palabras no alcanzan para agradecerle por tu amistad, tu apoyo y tu presencia siempre que la he necesitado.

*“No hay camino más inteligente en la agricultura
que el de la mejora del suelo en su totalidad”*

-Masanobu Fukuoka

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	ix
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCION.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivo Especifico.....	3
HIPOTESIS.....	3
1. REVISION DE LITERATURA.....	4
1.1. Fertilizantes sintéticos.....	4
1.1.1. ¿Qué son los fertilizantes?.....	4
1.1.2. Efectos negativos del uso excesivo e inadecuado de fertilizantes sintéticos.....	4
1.2. Tecnologías para la disminución de uso de fertilizantes sintéticos.....	6
1.3. Harina de rocas.....	7
1.3.1. Origen.....	7
1.3.2. Propiedades.....	7
1.3.3. Uso de la harina de rocas en la agricultura.....	7
1.4. Hongos micorrízicos arbusculares.....	8
1.4.1. ¿Qué son los hongos micorrízicos?.....	8
1.4.2. Simbiosis micorriza-planta.....	9
1.4.3. Tipos de hongos micorrízicos.....	9
1.4.4. Endomicorizas o micorizas arbusculares.....	9
1.4.5. Ectomicorizas.....	10
1.4.6. Ectendomicorizas.....	10
1.4.7. Uso de los HMA en la agricultura.....	11
1.5. Fresa.....	11
1.5.1. Origen.....	12
1.5.2. Importancia mundial y nacional.....	13
1.6. Cultivos sin suelo.....	14
1.6.1. ¿Qué es un cultivo sin suelo?.....	14
1.6.2. Importancia de los cultivos sin suelo.....	14

2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.1.	Localización	15
2.2.	Material vegetal.....	15
2.3.	Trasplante	15
2.4.	Instalación del experimento	16
2.5.	Tratamientos	16
2.6.	Riegos y nutrición	17
2.7.	Podas.....	17
2.8.	Cosecha.....	18
2.9.	Control de plagas y enfermedades	18
2.10.	Control de malezas.....	18
	Variables evaluadas	18
2.11.	Longitud y volumen de raíz.....	18
2.12.	Biomasa seca	19
2.13.	Diámetro radial y ecuatorial de frutos	19
2.14.	Rendimiento.....	19
2.15.	Diseño experimental y análisis estadístico	19
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1.	Longitud y volumen de raíz	23
3.2.	Biomasa seca	25
3.3.	Tamaño y calidad de frutos.....	27
3.4.	Rendimiento.....	29
4.	CONCLUSIONES	31
5.	REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	32
	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	32
	LIBROS	36
	MEMORIAS Y OTROS ENCUENTROS CIENTÍFICOS	36
	PÁGINAS WEB	37
	TESIS	37

INDICE DE CUADROS

- Cuadro 1:** Efecto de la dosis de los hongos micorrízicos arbusculares y harina de rocas en la longitud y volumen de raíz de plantas de fresa cv. Camino Real. 20
- Cuadro 2:** Efectos de la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas sobre la producción de biomasa seca de los diferentes órganos y el peso seco total de las plantas de fresa cv. Camino Real. 21
- Cuadro 3:** Efecto de la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el tamaño de los frutos y el rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real. 22

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en la longitud y volumen de raíz. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único)..... 24
- Figura 2.** Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el peso seco de raíz, de corona, de hojas y el total de planta. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).. 26
- Figura 3.** Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en la calidad, expresada en diámetro radial y ecuatorial de fruto. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).. 28
- Figura 4.** Efecto de la interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el rendimiento por planta. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único)..... 30

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la interacción de diferentes dosis de harina de rocas (HR) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa en condiciones de cultivos sin suelo. Se utilizó una mezcla de peat moss y perlita en una relación 70/30 (v/v) como medio de crecimiento. Los tratamientos utilizados fueron el resultado de la combinación de seis dosis de HR (0, 30, 60, 90, 120 y 150 g contenedor⁻¹) y tres de HMA (0, 5 y 10 g contenedor⁻¹).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con un arreglo factorial de (6 x 3), dando un total de 18 Tratamientos con IV Repeticiones. Se evaluó el desarrollo radical, la biomasa seca acumulada, así como la calidad de fruto y rendimiento por planta. A los datos colectados se les realizaron un Análisis de Varianza (ANOVA) y comparación de medias de acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el programa SAS versión 9.0. Las plantas desarrolladas en sustratos enriquecidos con una dosis de 30 g por contenedor de HR presentaron la mayor longitud, volumen de raíz, el mayor peso seco de las plantas y sus órganos, así como el mayor rendimiento y tamaño de los frutos de fresa.

Por su parte aquellas plantas cultivadas en contenedores biofertilizados con dosis de 10 g de HMA por contenedor mostraron un mayor crecimiento de la raíz, mayor acumulación de biomasa y el mayor rendimiento y tamaño de frutos. Esto debido a que en dosis bajas de HMA y dosis mayores de HR el desarrollo y rendimiento de la planta disminuye.

Así mismo, se obtuvo el mayor desarrollo de la raíz, la mayor acumulación de biomasa seca total, de los órganos, el mayor tamaño y calidad en los frutos en la interacción de 30 g por contenedor de HR y 10 g por contenedor de HMA.

Palabras clave: cultivo sin suelo, minerales, interacción, toxicidad.

INTRODUCCION

Actualmente la búsqueda de alternativas que disminuyan la dependencia al uso de fertilizantes sintéticos cobra una gran importancia, ya que, día a día los consumidores presentan una creciente inquietud e interés sobre el contenido y calidad de los productos que consumen.

Aunado a lo anterior, los daños medioambientales ocasionados por el uso excesivo e inadecuado de fertilizantes sintéticos tales como la erosión, salinización, compactación y pérdida de fertilidad y diversidad biológica en los suelos, la contaminación y eutrofización de cuerpos de agua, al igual que los daños provocados a la salud humana como la metahemoglobinemia y enfermedades cancerígenas, disminuyen cada vez más la viabilidad de la aplicación y uso de los fertilizantes sintéticos, promoviendo consigo el uso de fuentes naturales para la producción de alimentos.

Dentro de las opciones que existen en la actualidad para sustituir el uso de fertilizantes sintéticos como fuente nutrimental, se encuentran las fuentes orgánicas y minerales.

Fuentes orgánicas: Residuos vegetales de cosecha, poda, poscosecha, desechos de animales, estiércol, residuos de matadero, harinas de hueso y sangre, lombricomposta, bocashi, biofermentados, lixiviados de composta, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, y extracto de algas, (Medina *et al.* 2011).

Fuentes minerales: Harinas o polvos de rocas; como la zeolita, dolomita, roca fosfórica, apatita y harinas de basalto que han demostrado servir como fuente de nutrientes para las plantas, así mismo pueden restaurar la estructura, fertilidad y biodiversidad de los suelos.

También existen los microorganismos benéficos o biofertilizantes como las rizobacterias y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que incrementan la eficiencia en la absorción de los nutrientes y agua en las raíces de las plantas, al igual que proporcionan una mayor tolerancia a los diferentes tipos de estrés (hídrico, salino y osmótico). Estos beneficios no se ven limitados a su uso exclusivo en suelo ya que Díaz *et al.* (2013), menciona que el uso de estos microorganismos benéficos es una tecnología que puede ser implementada en la producción de cultivos sin suelo y como coadyuvantes mejoradores de la eficiencia de otras fuentes de nutrientes no sintéticas (Rojas y Ortuño 2007).

La Fresa es un fruto compuesto (poliaquenio) cuyo color puede variar desde rosa hasta rojo, siendo este último el más común, esta especie pertenece a la familia de las *Rosáceas*. El fruto proviene de una planta herbácea de tallos rastreros y hojas dentadas, que, debido a su capacidad de adaptación, puede cultivarse en distintos climas y en diferentes latitudes; gracias a estas características su comercio, así como su producción se ha incrementado notablemente en los últimos años a nivel mundial.

México ocupa el tercer lugar como productor a nivel mundial solo por debajo de China y E.U.A, y el segundo lugar como exportador solo después de España, con una derrama económica a nivel nacional estimada de 5,779 millones de pesos (SIAP, 2020).

Entre los sistemas de producción que se utilizan para el cultivo de fresa en México, destacan la producción hidropónica o en condiciones de cultivo sin suelo, las cuales cobran importancia por ser una alternativa para un uso eficiente del agua (Hernández *et al.* 2016), así como para incrementar la producción en menor superficie establecida de cualquier cultivo (Zaragoza 2013), incluso utilizando superficies de suelos no cultivables que de otra manera no podrían utilizarse.

Objetivo General

Evaluar el efecto de las dosis de harina de rocas (HR) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real en condición de cultivos sin suelo.

Objetivo Especifico

Obtener una dosis optima de HR que mejore el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa.

Obtener una dosis optima de HMA que mejore el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa

Determinar el efecto de la interacción de diferentes dosis de harina de rocas (HR) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real.

HIPOTESIS

Al menos una de las dosis de HR y HMA, así como la interacción de estos tendrá un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real.

1. REVISION DE LITERATURA

1.1. Fertilizantes sintéticos

1.1.1. ¿Qué son los fertilizantes?

Un fertilizante es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo o sustrato con la finalidad de suministrar determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Aunque las palabras abono y fertilizante se utilizan indistintamente en diversos países, este último, adjetivo vinculado a la palabra fertilizar, es más apropiada para definir este tipo de productos.

La palabra fertilizante se emplea para definir cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejore la calidad del sustrato a nivel nutricional. Los abonos orgánicos son generalmente de origen animal o vegetal, mientras que los abonos minerales son como su nombre indica, sustancias de origen mineral, producidas bien por la industria química o bien por la explotación de yacimientos naturales (fosfatos, potasa, basalto) (Rizo *et al.*, 2019).

1.1.2. Efectos negativos del uso excesivo e inadecuado de fertilizantes sintéticos

A pesar de la fácil disponibilidad con la que la fertilización química proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento de plantas, no contribuye a mejorar las condiciones del suelo, por el contrario, influyen negativamente en su física, química, y fertilidad, así como el tamaño de sus partículas y la estabilidad de sus agregados (Cardona *et al.* 2016), provocando mayor susceptibilidad a la erosión de los suelos.

El uso de fertilizantes químicos sintéticos afecta negativamente la fertilidad del suelo provocando salinización, problemas en el drenaje, compactación del suelo y disminución de la actividad microbiana ya que limita el crecimiento, número y variedad de microorganismos, principalmente bacterias y hongos, quienes son los encargados de descomponer los nutrientes a partir de la materia orgánica que es suministrada por las plantas y animales, para después reconstruirla en la forma disponible para las plantas (Álvarez. 2017; Iftikhar *et al.* 2019; Alarcón *et al.* 2020). Lo anterior se debe a que en los fertilizantes sintéticos existe la presencia de moléculas que difícilmente se descomponen con el paso del tiempo y que muchas de ellas se acumulan en el suelo, en el agua y en el cuerpo humano, transformándose en compuestos tóxicos altamente peligrosos para la vida. (Rizo *et al.* 2019; Alarcón *et al.* 2020).

Existen efectos negativos, más específicos según el tipo de fertilizante sintético utilizado, por ejemplo:

Los principales daños ambientales causados por la aplicación de los fertilizantes nitrogenados son: contaminación de las aguas por nitratos, eutrofización y emisión de gases a la atmósfera. Los problemas de salud están relacionados con la presencia de los nitratos que, por lixiviación, van a parar a las aguas subterráneas, ocasionando procesos de contaminación del agua, que, si no se vigilan, pueden provocar metahemoglobinemia (Vega. 2017).

Por su parte, la aplicación inadecuada de fertilizantes químicos a base de fosforo, provoca la degradación de los suelos, producción de alimentos de mala calidad muy contaminados que provocan enfermedades cancerígenas en las personas. Esto principalmente en suelos ácidos del mundo, especialmente en los trópicos, donde los problemas de fertilidad limitan la producción de cultivos, puesto que estos suelos, generalmente tienen bajo contenido de fósforo para las plantas y a menudo tienen una alta capacidad de fijación, lo que resulta una baja eficiencia de uso de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua (Chien *et al.*, 2003).

1.2. Tecnologías para la disminución de uso de fertilizantes sintéticos

La preocupación por temas ambientales y por el consumo de alimentos sanos y nutritivos hacen necesaria la búsqueda de sistemas de producción limpias, como es el caso de fuentes de producción orgánica y sostenibles (Medina *et al.* 2011; Viteri *et al.*, 2012; Murillo-Amador *et al.*, 2015; Hu *et al.* 2018), ya que esta última juega un rol muy importante en la producción continua de alimentos, donde se busca reducir la dependencia del uso de fertilizantes sintéticos y el incremento del uso de fuentes naturales de nutrientes, con bajos impactos en el medio ambiente y a la salud (Enciso-Garay *et al.* 2016).

Dentro de las principales fuentes naturales que se pueden utilizar para superar los inconvenientes provocados por el uso excesivo de los fertilizantes sintéticos se encuentra la materia orgánica (MO), que Medina *et al.* (2011) divide en dos categorías según su grado de procesamiento.

Sin procesar:

Sólidos. (a) Desechos vegetales de cosecha, de poda y Poscosecha. (b) Desechos animales como estiércol, residuos de matadero, entre otros.

Líquidos. (a) Efluentes de pulpa de café, desechos de origen animal entre otros.

Procesados:

Sólidos. (a) Compost. (b) Lombricomposta. (c) Bocashi.

Líquidos. (a) Biofermentados. (b) Te de compost y estiércol. (c) Ácidos húmicos. (d) Extracto de algas.

Harinas y polvos de rocas, (zeolita, dolomita, roca fosfórica) dentro de las que destaca la harina de rocas (HR) de origen basáltico, puesto que han demostrado su efectividad como fertilizante, además aporta los nutrientes básicos que cumplen un papel muy importante en el desarrollo de los sistemas de defensa de las plantas (producción de fitoalexinas), así como en la calidad nutracéutica de los alimentos (Rizo *et al.* 2019).

Microorganismos benéficos tales como las rizobacterias y los hongos micorrízicos, ya que estos últimos a través de su actividad simbiótica incrementan de la productividad hortícola. Dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, se encuentra la promoción del crecimiento, mayor nutrición mineral y mayor rendimiento por planta (Díaz *et al.* 2013).

1.3. Harina de rocas

1.3.1. Origen

Las harinas integrales tienen su origen en rocas como fosforitas, apatitas, granitos, basaltos, micaxistos, serpentinos, zeolitas, marmolinas, bauxitas, etcétera (González G. 2011). La harina de rocas de origen basáltico se compone de partículas finas, generado por la trituración mecánica de las rocas por la erosión artificial de molindas, expansión de grietas y por el rompimiento de las formaciones rocosas. (Restrepo, 2009).

1.3.2. Propiedades

Las harinas de rocas de origen basáltico son ricas en más de 70 elementos necesarios para la alimentación y mantenimiento del equilibrio nutricional de la salud de los organismos vivos; entre los que destacan: Silicio, Aluminio, Hierro, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Manganeso, Cobre, Cobalto, Zinc, Fósforo y Azufre (González G. 2011; Cornejo *et al.* 2014; Rizo *et al.* 2019)

1.3.3. Uso de la harina de rocas en la agricultura

En el uso agrícola la harina de rocas tiene un efecto muy poderoso en la restauración de los minerales y nutrición del suelo, de hecho, estos fueron la base de los primeros fertilizantes usados en la agricultura para asegurar el equilibrio nutricional de las plantas.

Las harinas de rocas han demostrado su efectividad como fertilizantes ya que además aportan los nutrientes básicos para el desarrollo de los sistemas de defensa de las plantas (producción de fitoalexinas), así como en la calidad nutracéutica de los alimentos (Rizo *et al.*, 2019), los hace disponibles al medio de manera lenta (Harley & Gilkes, 2000) maximizando la viabilidad para su uso en la agricultura, incluso como enriquecedores de sustratos en condiciones de cultivos sin suelo (González-Fuentes *et al.* 2020). Rizo *et al.*, (2019) menciona que la aplicación de harina de rocas de origen basáltico afecta positivamente los parámetros morfológicos del crecimiento de *Moringa oleifera Lam.*, promueve un aumento significativo en el número de frutos por planta, masa de frutos y el rendimiento del tomate, presentado una respuesta lineal creciente a las dosis aplicadas de harina de rocas en suelo (Enciso-Garay *et al.* 2016). Por su parte González-Fuentes *et al.* (2020), menciona que el uso de enmiendas minerales como enriquecedores de sustratos para la producción en condiciones de cultivo sin suelo aumenta el contenido de minerales y antioxidantes en los frutos de frambuesa.

1.4. Hongos micorrízicos arbusculares

1.4.1. ¿Qué son los hongos micorrízicos?

Los hongos micorrízicos son microorganismos benéficos que están asociados a la mayoría de las plantas terrestres, tanto cultivadas como silvestres, y cierto tipo de hongos. El término micorriza fue acuñado por el botánico alemán Albert Bernard Frank en 1885, y tiene origen en el griego “mykos” que significa hongo y del latín “rhiza” que significa raíz, es decir, que literalmente quiere decir “hongo-raíz”, definiendo así la asociación simbiótica, o mutualista, entre el micelio de un hongo y las raíces o rizoides de una planta terrestre.

1.4.2. Simbiosis micorriza-planta

Esta asociación es benéfica, tanto para el hongo, como para la planta.

La simbiosis entre estos dos organismos se da cuando el hongo coloniza el interior de la raíz ya sea intracelular o intercelularmente e incluso ambas, y, por medio de la red externa de hifas, sirve de puente para obtener nutrientes minerales y agua que no están al alcance del sistema radicular de la planta. Se habla de una asociación simbiótica puesto que la planta le proporciona al hongo azúcares y carbohidratos que son provenientes del proceso de fotosíntesis, los cuales son necesarios para su subsistencia, y un microhábitat para completar su ciclo de vida mientras que el hongo, a su vez, le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes minerales con baja disponibilidad en el suelo como por ejemplo el fósforo, así como defensas frente a patógenos y una mayor resistencia a eventos de estrés (Rojas y Ortuño 2007; Chen 2018; Lakna 2019; Franco 2021).

1.4.3. Tipos de hongos micorrízicos.

Los hongos micorrízicos se pueden dividir en dos grupos principales denominadas Ectomicorrizas y Endomicorrizas, dependiendo de si el hongo coloniza los espacios intercelulares radicales o se desarrolla dentro de las células. Las endomicorrizas se dividen además en micorrizas de orquídeas, ericoides y arbusculares (AM) (Bonfante y Género 2010; Chen 2018; Lakna 2019; Franco 2021)

1.4.4. Endomicorrizas o micorrizas arbusculares

El tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por ciertos zigomicetos, los cuales colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped. De hecho, algunos géneros de estos hongos forman también otro tipo de estructuras llamadas vesículas, compuestas principalmente por lípidos.

Estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrimentos para el hongo. La presencia tanto de arbusculos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesículo-arbuscular, sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (Aguilera *et al.*, 2007; Lakna 2019; Chen 2018; Franco 2021).

1.4.5. Ectomicorrizas

Las Ectomicorrizas se forman en raíces cortas y en las raicillas alimentadoras, modificando su forma, tamaño y a veces su color, las hifas del micelio del hongo no penetran en las células de la planta, sino que originan una envoltura que rodea las raíces del cual salen algunas hifas que se introducen entre las células de la raíz. Las hifas del manto fúngico se prolongan hacia el suelo, donde forman rizomorfos; ambas estructuras absorben y transportan agua y nutrientes minerales.

En la zona de la raíz donde ocurre el intercambio: el hongo trasloca a la raíz agua y nutrientes, y la raíz pasa al hongo carbohidratos y otras sustancias nutritivas (González-Chávez *et al.* 2009; Lakna 2019; Franco 2021).

1.4.6. Ectendomicorrizas

Las ectendomicorrizas, constituyen un grupo con estructura intermedia entre ectomicorrizas y endomicorrizas, que desarrollan funciones similares a ambos grupos. Estos hongos representan una alternativa frente al debilitamiento de las poblaciones de los hongos ectomicorrícicos, fundamentalmente *Basidiomycotina*, que habitualmente ocupan el espacio de raíces secundarias de crecimiento limitado (García, 2009; Chen 2018; Lakna 2019; Franco. 2021).

1.4.7. Uso de los HMA en la agricultura

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una práctica que ha tenido beneficios en la producción agrícola. La actividad simbiótica que presentan los hongos formadores de micorrizas puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola demostrando que su uso mejora el aprovechamiento de nutrientes del suelo, una mayor resistencia a diferentes tipos de estrés (osmótico, hídrico, salino) (Carpio *et al.*, 2005; Russo y Perkins, 2010), aumentando el crecimiento, acumulación de biomasa y rendimiento en muchas especies cultivables y de interés agronómico, como los cítricos (Navarro *et al.*, 2014), el sorgo (Bécquer *et al.*, 2012), pimiento (Díaz *et al.*, 2013) y papaya (Agüero *et al.* 2016).

Las plantas inoculadas con micorrizas como coadyuvantes del crecimiento en interacción con otros abonos orgánicos (humus de lombriz y gallinaza) evaluados en el cultivo de cebolla, permitieron la obtención de altos rendimientos y un mayor desarrollo de la planta (mayor altura de planta, mayor diámetro de bulbo, mayor desarrollo radical, mayor vigor y mayor sanidad de las plantas) en ausencia de fertilizantes químicos (Rojas y Ortuño. 2007), lo que convierte a los HMA un biofertilizante que mejora el uso de fuentes de nutrientes no sintéticas tal como la harina de rocas.

1.5. Fresa

La Fresa es una fruta que pertenece a la familia de las *Rosáceas*, la cual proviene de una planta herbácea de tallos rastreros y hojas dentadas que, debido a su capacidad de adaptación, puede cultivarse en distintos climas y en diferentes latitudes; gracias a estas características su comercio, así como su producción se ha incrementado notablemente en los últimos años a nivel mundial.

1.5.1. Origen

El origen de las fresas actuales es relativamente reciente (siglo XIX), aunque sus formas silvestres adaptadas a diversos climas son nativas de casi todo el mundo, a excepción África, Asia y Nueva Zelanda.

Algunos escritores se referían a *Fragaria vesca* como la común "fresa de los Bosques", la cual creció en grandes superficies de Europa. Su forma más conocida es la "Alpina", que aún es cultivada y originaria de las laderas orientales del Sur de los Alpes, mencionada en los libros por el año 1400.

Durante esos tiempos se cultivó también *Fragaria moschata* que se distinguía por ser una planta con buen desarrollo y frutos olor a almizcle. Alrededor de 1600, *F. moschata* fue llevada por colonizadores a América del Norte, donde se adaptó muy bien, especialmente en las costas del este (Altamirano. 2004).

Alfonso Ovalle descubrió por vez primera en 1614 vez en Chile, frutos grandes de fresas, los cuales fueron clasificados más tarde como *Fragaria chiloensis*, conocidos vulgarmente como fresal de Chile.

Del cruzamiento de esta especie *F. chiloensis* L. con *Fragaria virginiana* Duch se obtuvieron plantas de mejor rendimiento y grandes frutos de muy buena calidad, que han sido clasificados como *Fragaria x Ananassa* Duch, especie híbrida octoploide a partir de la cual se han desarrollado las variedades actualmente cultivadas (Altamirano. 2004).

La adaptación del cultivo de fresa a nuestro país se dio en un lapso relativamente corto. Iniciando su producción comercial a mediados del siglo anterior con finalidades de abastecer solo el mercado nacional. Sin embargo, su producción e importancia aumento con la demanda por parte de E.U.A. a partir de 1950.

Siendo la exportación lo que trajo como consecuencia una expansión del cultivo a cerca de 12 estados del país, provocando un aumento en la tecnificación de su almacenamiento, traslado y manejo de poscosecha. Actualmente la fresa ocupa una gran importancia a nivel nacional por su alta derrama económica y producción de empleos (Altamirano. 2004).

1.5.2. Importancia mundial y nacional

De acuerdo a los datos establecidos por la FAO, en 2019 hubo un área mundial cosechada de fresa de 396,401 ha, con una obtención aproximada de 8, 885,028 toneladas, con un rendimiento estimado de 22.4142 t ha⁻¹ a nivel mundial.

Entre los principales países productores de fresa en el 2016 esta: China con 3, 779 831 toneladas seguido de E.U.A. con 1, 431 050 toneladas, México con 468 248 toneladas, Turquía con 415 150 toneladas y Egipto con 378, 960 t, los cuales aportaron 71.45% del total de la fresa producida en el mundo (FAOSTAT, 2019). México es el tercer productor y exportador de fresa a nivel mundial.

En las estadísticas obtenidas por el SIAP en diciembre de 2020 a nivel nacional se tuvieron 9,342 ha sembradas y 9,342 cosechadas y una producción aproximada de 425,007 ton, con un rendimiento promedio de 45.496 t ha⁻¹. Que genera una derrama económica con un valor estimado de cinco mil 779 millones de pesos. Entre los estados con mayor producción de fresa se encuentra Michoacán con una superficie sembrada de 5,246 ha. Seguido de Baja California con 2,616 ha y Baja California sur con 140 ha sembradas hasta diciembre de 2020.

El resto de la cosecha se obtiene de otros estados como Aguascalientes, Jalisco, Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, Tlaxcala y Puebla, entre otros.

La producción de fresa en México varía ampliamente su grado de tecnificación, ya que hay producciones en suelo y a campo abierto, en micro, macro túneles, o las más tecnificadas en invernaderos, donde se desarrollan las plantas en condiciones de cultivo sin suelo, desde el uso de sistemas como **NFT** (película nutritiva) o mediante el uso de contenedores con sustratos inertes.

1.6. Cultivos sin suelo

1.6.1. ¿Qué es un cultivo sin suelo?

El cultivo sin suelo es una variable de la hidroponía, la cual se define como trabajo en agua, hydro (agua) y ponos (labor de trabajo). Por lo tanto, los cultivos sin suelo son un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato donde los nutrientes son suministrados a través de una solución nutritiva en la que se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (INTAGRI. 2017).

1.6.2. Importancia de los cultivos sin suelo.

Día a día se acrecientan los factores limitantes en la agricultura tales como la degradación, erosión y salinización de los suelos, así como la creciente escases de agua, dificultan la producción de alimentos. Lo anterior nos obliga a buscar tecnologías de producción más eficientes y eficaces en el uso de los recursos, que nos permitan aumentar la producción de cualquier cultivo en menor espacio, tal como lo es como la producción de alimentos en condiciones de cultivos sin suelo (Zaragoza. 2013).

En la producción de cultivos sin suelo la cantidad de agua que se utiliza es mucho mayor en comparación con un cultivo en tierra, sin embargo, es utilizada con mayor eficacia y eficiencia, ya que en producciones en suelo se pierde aproximadamente el 80% del agua en la filtración y la evaporación durante su uso.

De la misma manera el uso excesivo del suelo trae consigo problemas en su estructura, toxicidad, salinidad, enfermedades, contaminación por pesticidas, etc. (Beltrano y Giménez. 2015). Por lo que implementar la producción de cultivos sin suelo es una buena alternativa para un uso eficiente del agua (Hernández *et al.* 2016), y uso de superficies de suelos que no son cultivables.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en un invernadero tipo túnel en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son; Latitud Norte 25° 27², Longitud Oeste 101° 02² y a una altura de 1,610 msnm.

2.2. Material vegetal

Se utilizaron plántulas de fresa cv. Camino Real de entre 5 y 6 hojas bien desarrolladas obtenidas a partir de la propagación asexual o vegetativa por medio de estolones de plantas madres con las que se contaba. Esta variedad pertenece al grupo de fresas de día corto, produce fruta de primera calidad: su fruto es grande, firme y de color oscuro con muy buen sabor, baja deformación de fruta, la planta de fresa Camino Real es pequeña y erecta, lo que permite grandes densidades de plantación y facilita la recolección del fruto (Yaselga-Coronel, 2015).

2.3. Trasplante

Se colocó una plántula con cuatro o cinco hojas bien desarrolladas en cada bolsa cubriendo el cepellón de manera total sin cubrir la corona de las plántulas; la distancia entre filas fue de 25 cm y entre plantas de 20 cm, con un total de 5 plantas por tratamiento, las cuales fueron señaladas con el número de tratamiento y repetición correspondiente.

2.4. Instalación del experimento

Se utilizaron bolsas de polietileno de color negro con un volumen de 5 L. Las bolsas se llenaron con una mezcla de sustratos que fueron peat most y perlita en una relación 70/30 (v/v). Y según haya sido el tratamiento se mezcló la cantidad de harina de roca correspondiente con el sustrato individual de cada repetición.

2.5. Tratamientos

Se evaluaron 18 tratamientos resultantes de la combinación de 6 dosis de harina de roca (0, 30, 60, 90, 120, y 150 g por contenedor) y 3 dosis de micorrizas (0, 5 y 10 g por contenedor) donde el T1 es el testigo comercial único.

		HR g contenedor					
		0	30	60	90	120	150
HM g contenedor	0	T1	T4	T7	T10	T13	T16
	5	T2	T5	T8	T11	T14	T17
	10	T3	T6	T9	T12	T15	T18

Las seis dosis de harina de roca fueron diseñadas en base a la demanda nutrimental del cultivo de fresa (174 de N, 57.2 de P, 237.6 de K, 250.9 de Ca 185.7 de Mg, en kg ha⁻¹) (Avitia-García *et al*, 2014), así como el contenido mostrado en la ficha técnica de la misma.

Elemento	N	P	K	Ca	Mg	S
Ppm	13.6	4.56	15.9	222.6	78.1	113.9

Elemento	Fe	Mn	B	Mo	Cu	Zn
Ppm	18.2	162	43.4	4.93	71.3	42.6

Mientras que las dosis de hongos micorrízicos arbusculares fueron determinadas mediante un ajuste a la recomendación técnica del producto.

2.6. Riegos y nutrición

Para el caso de las soluciones nutritivas (SN) que se utilizaron para la aplicación al cultivo fue la de Steiner al 40% y una solución modificada de esta misma para todos los demás tratamientos en la cual la modificación consistió en excluir los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{2+} así como el anión SO_4^{2-} , al igual que todos los micronutrientes ya que son elementos abundantes en la harina de roca.

El pH de las soluciones se ajustó a 6.0 ± 0.2 con HNO_3 . La conductividad eléctrica varió entre 1.4 a $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

El riego se realizó de forma manual, acorde al consumo hídrico de las plantas, aplicando el volumen evapotranspirado por las mismas cuando se consumía la mitad del agua retenida en por el sustrato, agregando un 10 % adicional que constituía la fracción de drenaje. Desde el primer día después del trasplante se aplicaron las soluciones nutritivas acorde para cada tratamiento.

La manera en que determinó el momento y la cantidad de agua necesaria para efectuar el riego fue pesando plantas de forma representativa media hora después de regar, esto para conocer la cantidad de agua retenida por el sustrato, y 24 horas después para conocer el consumo diario real de agua, sin importar cual fuese la condición ambiental.

El consumo de agua diario vario dependiendo de la etapa fenológica del cultivo y de las condiciones climáticas; en días calurosos y con baja humedad relativa la evapotranspiración fue mayor, por lo que en estos casos el riego se aplicó diariamente; de manera distinta ocurrió cuando los días eran nublados, con baja temperatura y alta humedad relativa, donde la aplicación de los riegos podía extenderse hasta cada tercer o cuarto día.

2.7. Podas

De forma quincenal después de la instalación del cultivo se realizó la poda de hojas para evitar le incidencia de plagas y enfermedades en la planta. Posteriormente se añadió la poda o aclareo de frutos con la finalidad de mantener igualdad en el tamaño y calidad de los frutos. Los órganos retirados fueron almacenadas y secadas en bolsas de papel señalados según la repetición y tratamiento correspondiente.

2.8. Cosecha

La cosecha se realizó de manera continua a partir del cuarto mes ddt hasta que finalizó el experimento a los 210 días después del trasplante (ddt). Como índice de cosecha se tomó la madurez hortícola de los frutos de fresa.

2.9. Control de plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se realizaron aplicaciones preventivas y de control para araña roja (*Tetranychus urticae*) utilizando productos con abamectina como ingrediente activo. Las condiciones ambientales y la incidencia de la plaga determinaron la frecuencia y fechas para las aplicaciones.

La preparación del producto se dio agregando 0.75 ml por cada litro de agua que se necesitara para la aplicación. La cantidad de agua necesaria para las aplicaciones variaba según la etapa del cultivo. Aunque la poda adecuada y el buen manejo de la humedad relativa y la temperatura en el invernadero ayudaron a controlar las poblaciones e incidencia de dicho acaro.

2.10. Control de malezas

Las malezas que se llegaron a presentar dentro del invernadero fueron eliminadas de forma manual, evitando de esta manera que se convirtieran en hospederos de las plagas.

Variables evaluadas

2.11. Longitud y volumen de raíz

La longitud de raíz se determinó midiendo desde la base de la planta hasta la parte más larga del ápice radical con ayuda de una cinta métrica. El registro de los datos obtenidos fue en cm.

Una vez retirado el sustrato de la raíz mediante el lavado, se determinó su volumen utilizando una probeta de 1 l. Los datos obtenidos se registraron en cm³.

2.12. Biomasa seca

Una vez determinadas las variables en fresco, los órganos separados se colocaron en bolsas de papel y posteriormente se distribuyeron en las camas del invernadero el cual se mantuvo cerrado el tiempo necesario para obtener el peso seco de cada órgano.

Posterior a este periodo de tiempo, mediante el uso de balanza analítica se determinó el peso seco de los diferentes órganos, y finalmente por medio de la suma aritmética de los pesos secos de todos los órganos se obtuvo el peso seco total de la panta.

2.13. Diámetro radial y ecuatorial de frutos

Durante el periodo de cosecha se determinaron los diámetros radiales y ecuatoriales de los frutos cosechados mediante un vernier digital registrando en mm. Aquellos frutos inferiores a los estándares actuales de calidad fueron omitidos.

2.14. Rendimiento

Una vez iniciada la cosecha se determinó el peso de cada fruto cosechado utilizando una báscula digital registrando su peso en g; esto durante los meses que duró la cosecha obteniendo de esta manera el rendimiento total de cada repetición de los tratamientos.

2.15. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA) con un arreglo factorial (6 x 3), con IV Repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron en un Análisis de Varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizado el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de las raíces de las plantas de fresa cv. Camino Real, fue afectado significativamente por las dosis de los hongos micorrízicos (HM), por las dosis de harinas de rocas (HR) y por la interacción entre estos dos factores. Agregar dosis de 10 g de HMA por contenedor provoca una mayor longitud y volumen de raíz en comparación con plantas que recibieron 0 y 5 g de HMA (Cuadro 1).

En tanto a las plantas que recibieron una dosis de 30 g por contenedor de harina de rocas registran un incremento de la longitud y volumen de raíz en comparación con aquellas que recibieron 0, 60, 90, 120, y 150 g de HR (Cuadro 1).

Cuadro 1: Efecto de la dosis de los hongos micorrízicos arbusculares y harina de rocas en la longitud y volumen de raíz de plantas de fresa cv. Camino Real.

Hongos micorrízicos arbusculares (g)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (ml)
0	52.16c	102.29c
5	58.75b	109.42b
10	66.17a	115.62a
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001
Harina de rocas (g)		0
0	59.67c	111.50c
30	72.25a	130.58a
60	67.25b	121.42b
90	60.92c	111.58c
120	51.08d	88.75d
150	40.00e	90.83d
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001
Interacción $P \leq$	0.0052	0.0001
CV (%)	3.118	1.83

≤ 0.05 y $0.01 =$ significativo; $\geq 0.05 =$ No Significativo. Anova= Análisis de Varianza. Las letras a, b, c, d, e y f son las categorías de acuerdo con la prueba de tukey $P \leq 0.5$. Interacción = hongos micorrízicos * harina de rocas, CV = Coeficiente de Variación.

El peso seco total de la planta y de sus diferentes órganos fue afectado significativamente por la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas, así como por la interacción entre estos dos factores (Cuadro 2). Las plantas desarrolladas en sustratos con 10 g de HMA por contenedor presentaron la mayor acumulación de peso seco de raíz, corona, hojas y el peso seco total, en comparación con aquellas plantas que recibieron dosis de 0 y 5 g por contenedor de HM (Cuadro 2).

Por su parte las plantas desarrolladas en sustratos enriquecidos con 30 g por contenedor de HR acumularon el mayor peso seco de raíz, hojas y total de la planta, mientras que, el peso seco de corona fue mayor en plantas desarrolladas con 30 y 60 g por contenedor de HR, en comparación con plantas desarrolladas en sustratos con dosis 0, 90, 120, y 150 g de HR ya que este peso disminuye (Cuadro 2).

Cuadro 2: Efectos de la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas sobre la producción de biomasa seca de los diferentes órganos y el peso seco total de las plantas de fresa cv. Camino Real.

Hongos micorrízicos arbusculares (g)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de corona (g)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco total (g)
0	13.88c	5.62b	37.83c	57.32c
5	16.65b	5.49b	43.52b	65.66b
10	19.28a	6.13a	48.45a	73.87a
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Harina de rocas (g)				
0	16.40c	5.77b	44.47b	66.65c
30	21.95a	6.97a	63.07a	91.99a
60	19.48b	6.62a	44.47b	70.58b
90	16.25c	5.05cd	41.13c	62.43d
120	14.08d	4.67d	36.33d	55.09e
150	11.45e	5.41bc	30.11e	46.97f
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Interacción $P \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CV (%)	2.98	8.89	3.86	2.29

≤ 0.05 y $0.01 =$ significativo; $\geq 0.05 =$ No Significativo. Anova= Análisis de Varianza. Las letras a, b, c, d, e y f son las categorías de acuerdo a la prueba de tukey $P \leq 0.5$. Interacción = hongos micorrízicos * harina de rocas, CV = Coeficiente de Variación.

El tamaño de los frutos y el rendimiento por planta fueron influenciados significativamente por la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas, así como por la interacción entre estos dos factores (Cuadro 3). Las plantas cultivadas en sustratos biofertilizados con dosis de 5 g por contenedor de hongos micorrízicos mostraron el mayor diámetro radial, ecuatorial y rendimiento de fruto por planta, en comparación con aquellas cultivadas con 0 y 10 g de HM (Cuadro 3). Al aplicar una dosis de 30 y 60 g por contenedor de HR se obtiene el mayor diámetro radial de fruto, en comparación con los frutos de plantas cultivadas con dosis de 0, 90, 120 y 150 g de HR, mientras que al agregar dosis de 30 g de HR p se obtiene el mayor rendimiento comparado con aquellas plantas desarrolladas con dosis de 0, 60, 90, 120 y 150 g de HR (Cuadro 3).

Cuadro 3: Efecto de la dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el tamaño de los frutos y el rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real.

Hongos micorrízicos arbusculares (g)	Diámetro radial (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Rendimiento (g)
0	33.74b	31.31b	234.54c
5	34.70a	32.27a	265.75a
10	34.31ab	31.84ab	260.04b
ANVA $P \leq$	0.0138	0.0188	0.0001
Harina de rocas (g)			
0	34.77b	32.28b	266.33c
30	36.44a	33.87a	337.58a
60	35.48ab	32.94ab	301.16b
90	34.77b	32.24b	264.83c
120	33.10c	30.81c	201.16d
150	30.95d	28.71d	149.58e
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001	0.0001
Interacción $P \leq$	0.0520	0.1598	0.0001
CV (%)	3.22	3.56	1.56

≤ 0.05 y $0.01 =$ significativo; $\geq 0.05 =$ No Significativo. Anova= Análisis de Varianza. Las letras a, b, c, d y f son las categorías de acuerdo a la prueba de tukey $P \leq 0.5$. Interacción = hongos micorrízicos * harina de rocas, CV = Coeficiente de Variación.

3.1. Longitud y volumen de raíz

El efecto de los hongos micorrízicos sobre la longitud y volumen de raíz está ligada a la dosis de harina de rocas (Figura 1A y 1B).

Las plantas cultivadas en sustratos enriquecidos con dosis de 30 g de HR obtuvieron la mayor longitud y volumen de raíz, siempre y cuando la dosis agregada de hongos micorrízicos sea igual a 10 g por contenedor, ya que en dosis menores el desarrollo de la raíz disminuye. En tanto aquellas plantas a las que se les agregaron 0, 60, 90, 120 y 150 g de HR mostraron una disminución en el desarrollo de la raíz, incluso cuando se les fueron agregados 10 g de HM (Figura 1A y 1B). Lo anterior indica que los hongos micorrízicos arbusculares aumentan la longitud y volumen de la raíz con dosis adecuadas de harina de rocas (Figura 1A y 1B).

Esto puede ser debido a que la harina de rocas es una fuente de más de 70 elementos minerales; entre los cuales destacan: calcio, magnesio, sodio y potasio (González, 2011; Rizo *et al.* 2019), estos cationes tienen una especial relación con la conductividad eléctrica (CE), ya que los altos valores de CE corresponden con altos contenidos de Ca, Mg y Na, y viceversa (Cortés *et al.* 2013). Dicho de otra manera, al elevar la cantidad de HR aplicada por contenedor elevamos la CE, provocando un efecto negativo en el cultivo de fresas ya que las plantas experimentan una disminución la longitud de la raíz primaria debido a la inhibición de la división celular inducida por las sales (Rahnama *et al.* 2011 ; Jung y McCouch, 2013 ; Heikham *et al.* 2019), efecto igualmente reportado en plantas de tomate por Goykovic *et al.* (2007) y Saldaña *et al.* (2017).

Sin embargo, existen organismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que son biomejoradores importantes para medios salinos ya que mediante la simbiosis que forman, se constituye un sistema radical con mayor eficiencia para absorber y transferir nutrientes minerales del suelo (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012). Estas hifas son más delgadas que las raíces, por lo que facilitan la extracción de poros llenos de agua, que de otra manera serían inaccesibles para las raíces (Smith *et al.* 2010).

Esto mejora la adquisición de nutrientes y agua manteniendo el equilibrio iónico y osmótico en las plantas (Heikham *et al.* 2009 , 2012 ; Ruiz-Lozano *et al.* 2012 ; Augé *et al.*, 2014), por lo que la colonización y simbiosis micorrícica arbuscular optimiza el crecimiento y mitiga el daño causado por la salinización en las plantas hospederas (Heikham *et al.*, 2009; Ruiz-Lozano *et al.*, 2012; Heikham *et al.*, 2013 ; Agüero *et al.* 2016; Heikham *et al.* 2019), incrementando de esta manera la longitud de la raíz, ya que esta es mayor en plantas micorrizadas que en plantas no micorrizadas (Kumar y col. 2010; Heikham *et al.* 2019).

Quiñones-Aguilar *et al.* (2019) reporta que la presencia de hongos micorrícicos está relacionada con un incremento en la longitud radicular en plantas de papaya, Agüero *et al.* (2016) menciona el mismo efecto cuando las plantas de albahaca fueron inoculadas en con HMA, mientras que Navarro *et al.* (2014) y Wu *et al.* (2010) observaron que la longitud, la superficie y el área proyectada de la raíz aumenta en la presencia de HMA en las plantas de cítricos. Lo anterior apoya los resultados que se muestran en el presente trabajo respecto a la longitud y volumen de raíz de las plantas de fresa cv. Camino Real.

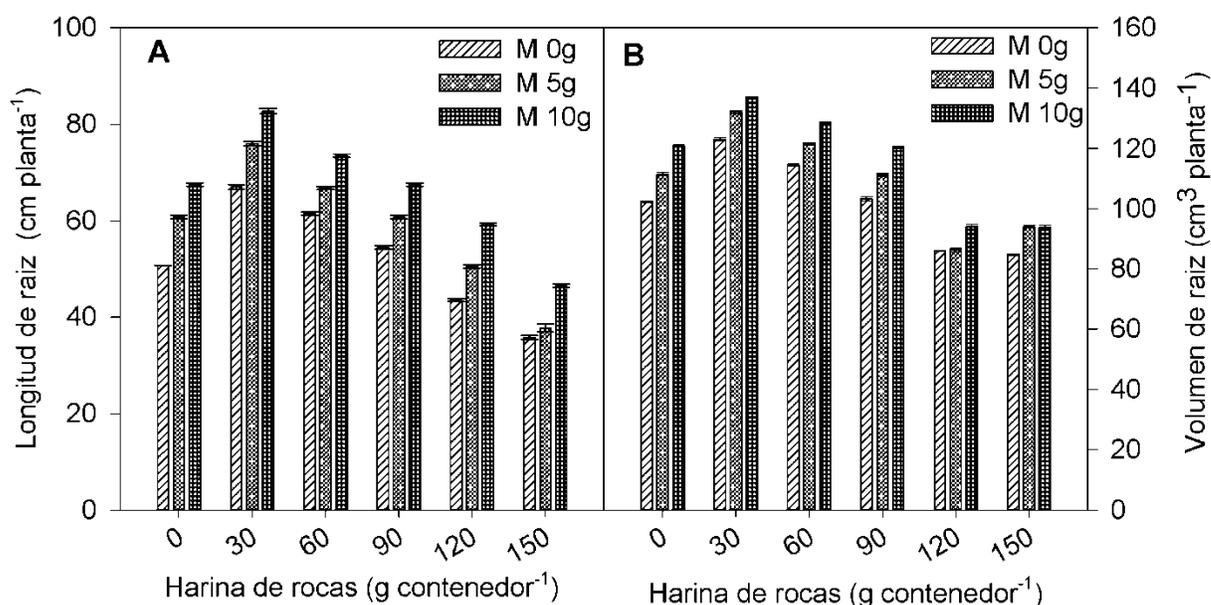


Figura 1. Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en la longitud y volumen de raíz. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).

3.2. Biomasa seca

El efecto de los hongos micorrízicos sobre la acumulación de peso seco de los órganos y total de la planta está ligada a la dosis de harina de rocas (Figura 2A, 2B, 2C y 2D). Las plantas cultivadas en sustratos enriquecidos con 30 g por contenedor de harina de rocas registraron el mayor peso seco de raíz (Figura 2A), peso seco de corona (Figura 2B), peso seco de hoja (Figura 2C) y peso seco total de la planta (Figura 2D), siempre y cuando la dosis de HMA sea igual a 10 g por contenedor, ya que en dosis inferiores la acumulación de materia seca es menor.

En tanto aquellas plantas cultivadas en sustratos enriquecidos con dosis de 60, 90, 120 y 150 g por contenedor presentaron una menor acumulación de biomasa incluso cuando fueron biofertilizadas con 10 g de HMA por contenedor. Esto indica que los HMA promueven la mayor acumulación de biomasa de las plantas de fresa de este cultivar en dosis adecuadas de HR. Lo anterior puede ser debido a que en dosis elevadas de HR incrementa el potencial osmótico como consecuencia a una elevada concentración de sales disueltas en el medio externo de la raíz (Cortés *et al.* 2013) disminuyendo su crecimiento y desarrollo. A su vez, el crecimiento de la parte aérea de la planta depende del transporte de agua y nutrientes absorbidos por las raíces, quienes necesitan de los carbohidratos producidos por la fotosíntesis en la parte aérea, ya que están en directa relación, provocando una disminución de biomasa seca y sus diferentes órganos cuando la raíz crece en condiciones de estrés (Khemeshwar, 2018). El estrés salino produce una limitada asimilación de nutrientes, por lo que las actividades vitales de la planta como fotosíntesis se ven afectadas por falta de insumos, disminuyendo la producción de carbohidratos y por ende el desarrollo total de la planta. Casierra y García (2006) y González-Jiménez *et al.* (2020) reportaron que las plantas de fresa cultivadas en condiciones de salinidad, incluso cuando esta es moderada, sufren una disminución en su peso seco total, ya que, niveles de salinidad que exceden la tolerancia del cultivo de fresa provocan que las plantas disminuyan su tasa de crecimiento, número de hojas y el área foliar (Garriga *et al.* (2015), siendo más evidente cuando la salinidad excede 2.3 dS m^{-1} (González-Jiménez *et al.* 2020), como respuesta a una menor absorción de agua por las raíces por la presión osmótica del medio (Parihar *et al.*, 2015).

Sin embargo, el uso de microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una alternativa para incrementar la capacidad de absorción de agua y nutrientes de las plantas (Simó-González *et al.* 2017) así como para contrarrestar los efectos perjudiciales provocados por el exceso de sales disueltas (CE) en la solución externa de la raíz (Agüero *et al.* 2016) ya que las plantas micorrizadas son más tolerantes a factores abióticos adversos como salinidad (Rabie, 2005; Maiquetía *et al.*, 2009; Camprubi *et al.*, 2011; Quiñones-Aguilar *et al.*, 2019), de hecho, la producción de biomasa seca de la parte aérea, de la raíz y total, es superior en plantas micorrizadas que en plantas no micorrizadas en el cultivo de pasto (*Brachiaria brizantha*)(Simó-González *et al.* 2017), al igual que el peso seco aéreo de las plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Bécquer *et al.* 2012). Lo cual sustenta los resultados mostrados en el presente trabajo, respecto a la acumulación de biomasa seca en las plantas de fresa.

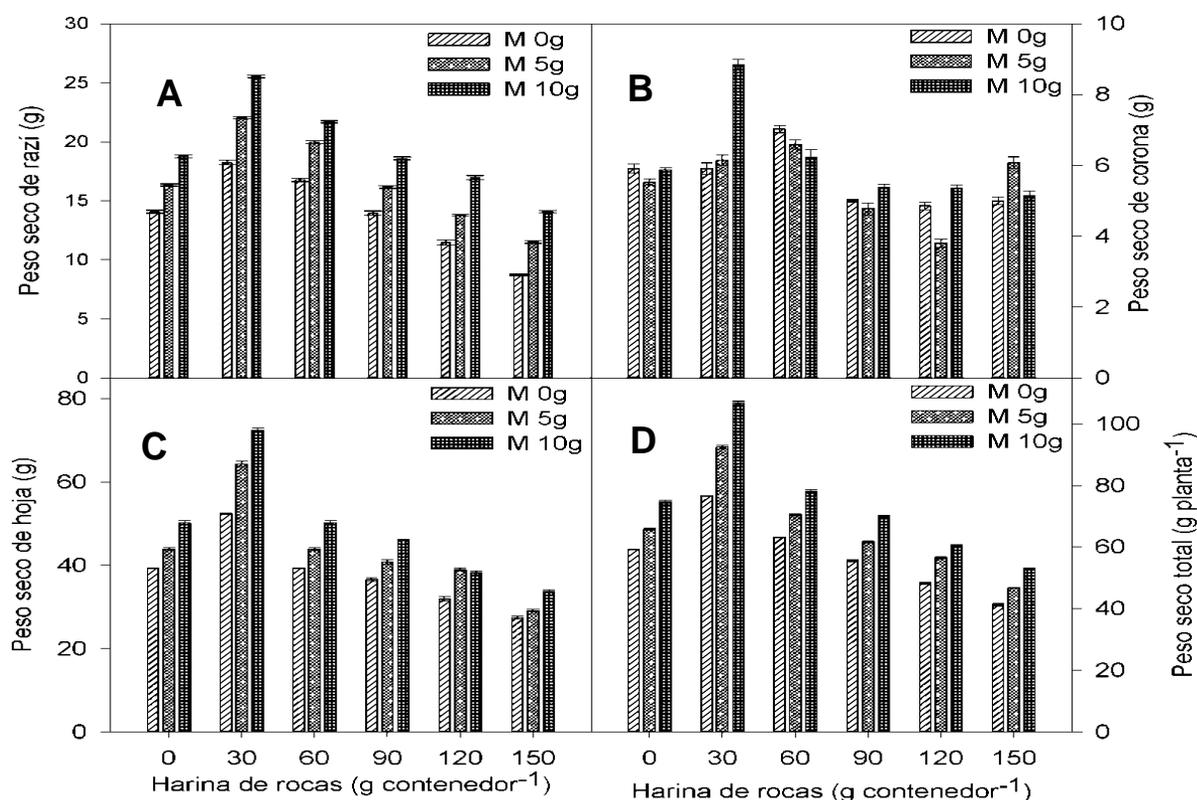


Figura 2. Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el peso seco de raíz, de corona, de hojas y el total de planta. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).

3.3. Tamaño y calidad de frutos

El efecto de los hongos micorrízicos arbusculares sobre el diámetro radial y ecuatorial de los frutos está ligada a la harina de rocas (Figura 3A y 3B).

Los frutos cosechados de plantas cultivadas en sustratos enriquecidos con dosis de 30 g de HR por contenedor presentaron la mayor calidad, expresada en el mayor diámetro radial y ecuatorial, siempre y cuando la dosis agregada de HMA sea igual a 10 g por contenedor, ya que en dosis menores el tamaño y calidad de los frutos disminuye. En tanto a los frutos producidos por las plantas enriquecidas con mayor o menor dosis de HR mostraron una disminución en su calidad al tener un menor diámetro radial y ecuatorial, incluso cuando fueron agregados 10 g de HM (Figura 3A y 3B).

Esto indica que con la presencia de HMA se obtiene el mayor tamaño y calidad de los frutos en dosis adecuadas de HR.

La disminución en el tamaño del fruto antes mencionada puede ser debido a que las elevadas dosis de HR provocan un estrés osmótico reduciendo el crecimiento de la planta, del follaje y su actividad fisiológica (González-Jiménez *et al.*, 2020; Khemeshwar, 2018), teniendo como consecuencia una disminución en la formación de los fotosintatos que la planta requiere para la producción de frutos (Parihar *et al.*, 2015). De hecho, Khemeshwar (2018), menciona que el tamaño y la calidad del fruto de fresa está limitado y afectado por la salinidad de la solución nutritiva, en condición de hidroponía, de tal manera que las plantas producen una mayor cantidad de frutos no comerciales.

Por su parte Mingeau *et al.* (2001) reporta que los arándanos tipo arbustivo (highbush) presenta una disminución en el diámetro radial y ecuatorial del fruto en condición de estrés osmótico, mientras que Salgado *et al.* (2018) reportó lo contrario en el cultivo de arándano (Biloxi) que no presenta disminución en el tamaño de fruto frente al estrés salino. Sin embargo, la actividad simbiótica que presentan los HMA pueden constituir una herramienta importante para el incremento de la productividad hortícola (Díaz *et al.* 2013).

Dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, se encuentra la promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta (Carpio *et al.*, 2005; Russo y Perkins, 2010; Díaz *et al.* 2013), teniendo como respuesta el incremento en el tamaño del fruto, tal y como reporto Díaz *et al.* (2013) en frutos de pimiento cv. “Valeria” cultivados bajo invernadero.

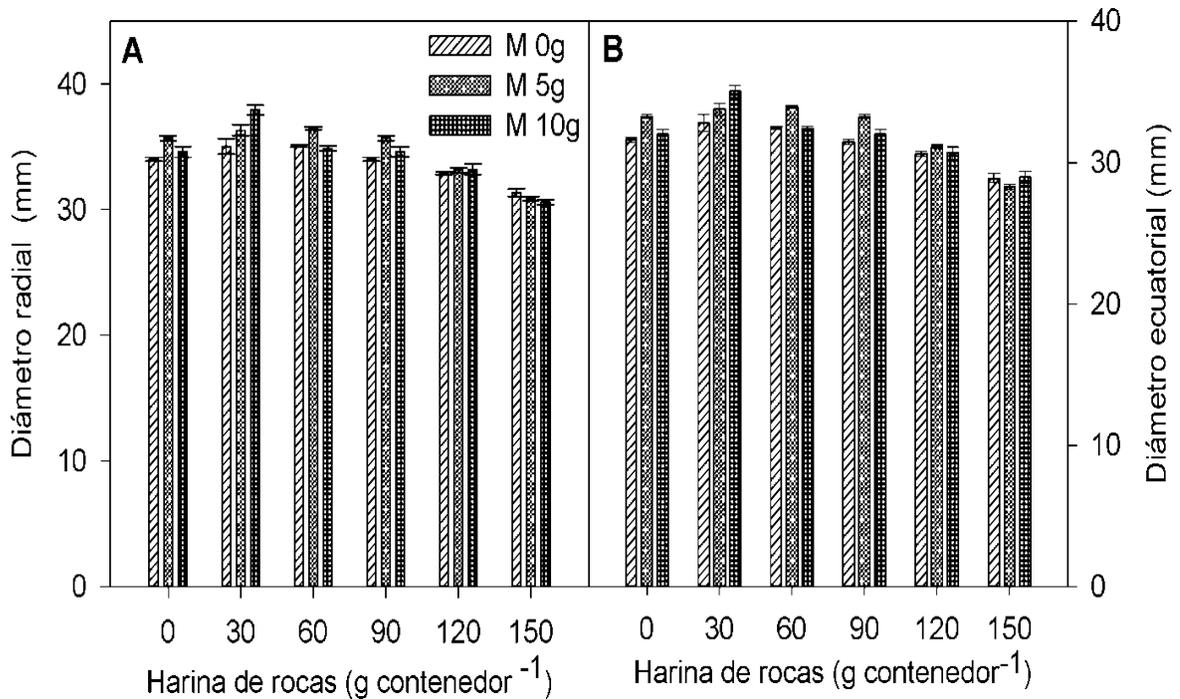


Figura 3. Efecto de la Interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en la calidad, expresada en diámetro radial y ecuatorial de fruto. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).

3.4. Rendimiento

El efecto de los hongos micorrízicos arbusculares HMA sobre el rendimiento de las plantas de fresa cv. Camino Real se encuentra ligado estrictamente a la dosis de harina de rocas (HR) (Figura 4).

Las plantas que fueron cultivadas en sustratos enriquecidos con 30 g de HR por contenedor presentaron el mayor rendimiento siempre y cuando hayan sido biofertilizadas con 5 g de HMA por contenedor (Figura 4) ya que en dosis de 0 y 10 g el rendimiento tiende a disminuir. En tanto aquellas plantas cultivadas en sustratos enriquecidos con dosis de 60, 90, 120 y 150 g por contenedor presentaron un menor rendimiento, incluso cuando fueron biofertilizadas con 5 g de HMA.

Esto indica que los HMA promueven el mayor rendimiento por planta en dosis adecuadas de HR (Figura 4).

Lo anterior puede ser debido a un desabasto en la producción de los fotosintatos que la planta requiere para la producción de frutos, ya que la planta experimenta una menor actividad fisiológica al presentar un crecimiento limitado, una insuficiente área foliar y radical a causa del estrés osmótico (Parihar *et al.*, 2015), estudios demuestran que el número de frutos al igual que su peso se ven afectados negativamente al elevar la CE de la solución nutritiva en las plantas de fresa cultivadas en hidroponía, disminuyendo el rendimiento comercial (Khemeshwar. V. 2018). López-Sánchez *et al.* (2018), menciona que el rendimiento de la mayoría de los frijoles comunes (*Phaseolus vulgaris* L.), se ve afectado negativamente por el estrés salino en el suelo. Además, Goykovic y Saavedra (2007), reportan que el número y peso de los frutos también se afectan negativamente por la salinidad de manera que su rendimiento disminuye.

La simbiosis micorrícica es una interacción biológica que se establece entre ciertos hongos del suelo y la mayoría de las especies vegetales. Los beneficios derivados de esta simbiosis se asocian con incrementos en la capacidad de absorción de agua y nutrimentos, mayor tolerancia al estrés hídrico, estrés salino y osmótico (Carpio *et al.*, 2005; Russo *et al.* 2010; Díaz *et al.* 2013; Simó-González *et al.* 2017).

La inoculación de plantas de pimiento cv “Valeria” con HMA, promovió mayor peso de los frutos, 40 g más en comparación con el testigo, esto como respuesta de una mayor disponibilidad de nutrientes y agua proporcionados por la simbiosis micorriza-planta (Díaz *et al.* 2013). El peso de los frutos de piñón es mayor en aquellas plantas micorrizadas en comparación con las que no fueron micorrizadas, lo cual se debe posiblemente a que la planta produce mayor área foliar fotosintéticamente activa al no tener deficiencias de nutrimentos (Balota *et al.*, 2011), sustentando de esta manera los resultados mostrados en el presente trabajo, con respecto al rendimiento y calidad de los frutos de las plantas de fresa cv. Camino Real cultivadas en sustratos enriquecidos con HR y biofertilizadas con HMA.

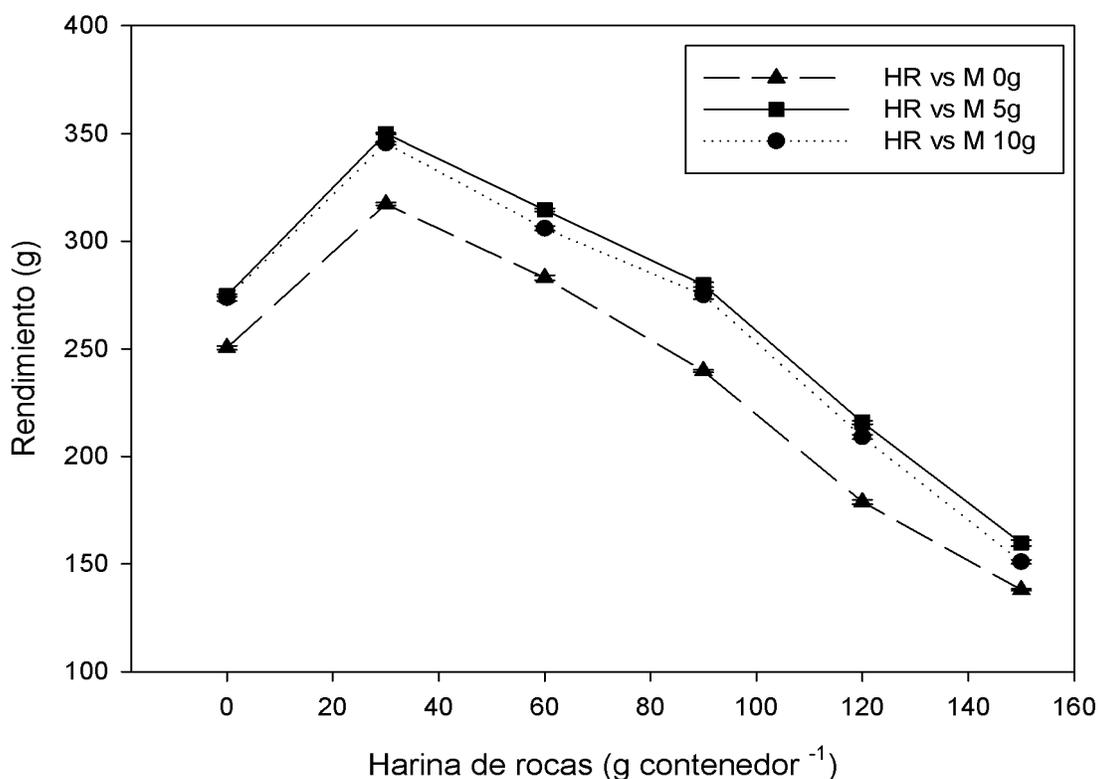


Figura 4. Efecto de la interacción entre las dosis de hongos micorrízicos y harina de rocas en el rendimiento por planta. Las barras indican el error estándar de la media (Se contó con un testigo comercial único).

4. CONCLUSIONES

El uso de harina de rocas (HR) es una alternativa como fuente no sintética de elementos minerales, pues en dosis de 30 g por contenedor las plantas de fresa de este cultivar, presentaron el mayor crecimiento de raíz, acumulación de biomasa, tamaño y calidad de fruto, así como el mayor rendimiento en condiciones de cultivo sin suelo.

Sin embargo, en altas cantidades tiende a presentar toxicidad ya que disminuye el desarrollo de la raíz, la acumulación de biomasa, así como la calidad de los frutos y el rendimiento por planta.

Por otra parte, los hongos micorrízicos arbusculares HMA en dosis de 10 g por contenedor promueve e incrementa el crecimiento de la raíz, la acumulación de biomasa, y el tamaño de fruto de las plantas en condiciones de cultivo sin suelo; mientras que en dosis menores tiende a presentar menor influencia sobre el desarrollo de la planta y el tamaño de los frutos.

La combinación e interacción entre estos dos factores es una opción para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos como fuente nutrimental para este cultivar en condiciones de cultivos sin suelo.

5. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Agüero F. Y. M., Hernández M. L.G., Nieto G. A., Troyo D. E., Zulueta Rodríguez R. & Murillo Amador. B. 2016. Hongos micorrízicos arbusculares como agentes mitigadores del estrés salino por NaCl en plántulas de albahaca. *Nova scientia*. 8(17): 60-86.

Aguilera G. L. I., Olalde P. V., Arriaga M. R. & Contreras A. R. 2007. Micorrizas arbusculares. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva. 14(3): 300-306.

Alarcón C. J., Recharte P. D. C., Yanqui D. F., Moreno LL, S. M. & Buendía M. M. A. 2020. Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). *Scientia Agropecuaria*. 11(1): 67-73.

Augé R. M., Toler H. D. & Saxton A. M. 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis. *Frontiers in plant science*. 5: 562.

Avitia-García E., Pineda-Pineda J., Castillo-González A. M., Trejo-Téllez L. I., Corona-Torres T. & Cervantes-Urbán E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 5(3): 519-524.

Balota E. L., Machineski O., Truber P. V., Scherer A. & de Souza F. S. 2011. Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. *Braz. J. Plant Physiol*. 23(1):33-44.

Bécquer C. J., Salas B., Ávila U., Palmero L. A., Nápoles J. A., Ramos Y., Pasarón I., Ulloa L., Colina O. L. & Suárez Y. 2012. Efecto de la inoculación con rizobios procedentes de Sancti Spíritus, Cuba, en sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), bajo condiciones de campo. *Pastos y Forrajes*. 35(1): 57-66.

Bonfante P. & Género A. 2010. Mecanismos subyacentes a las interacciones beneficiosas entre plantas y hongos en la simbiosis micorrízica. *Nat Commun* 1: 48.

- Camprubi A., Estaun V. and Calver C. 2011.** Greenhouse inoculation of psammophilic plant species with arbuscular mycorrhizal fungi to improve survival and early growth. *Eur. J. Soil Biol.* 47: 194-197.
- Cardona W. A., Bolaños B. M. M. & Chavarriaga M. W. 2016.** Efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre la agregación de un suelo cultivado con *Musa acuminata* AA. *Acta Agronómica.* 65(2): 144-148.
- Carpio A. L., Davies F. T. and Arnold, M. A. 2005.** Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130: 131-139.
- Casierra P. F. & García R. N. 2006.** Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por estrés salino. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín.* 59(2): 3527-3542.
- Chen M., Arato M., Borghi L., Nouri E. & Reinhardt D. 2018.** Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi - From Ecology to Application. *Frontiers in plant science.* 9 :1270.
- Chien S. H., Prochnow L. & Mikkelsen R. 2003.** Uso Agronómico de la Roca Fosfórica para Aplicación Directa. *Informaciones Agronómicas.* International Plant Nutrition Institute (IPNI): 13-16.
- Cortés D., Pérez J., & Camacho Tamayo, J. 2013.** Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16(2): 401-408.
- Díaz F. A., Alvarado C. M., Ortiz C. F., & Grageda C. O. 2013.** Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas.* 4(2): 315-321.
- Enciso-Garay C. R., Duarte A. O., Abrahám B. G. & Santacruz O. V. R. 2016.** Dosis de polvo de roca y sus efectos sobre el rendimiento del tomate. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável.* 11(1): 37-42.
- García M. H. 2009.** Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. In *Anales del jardín botánico de Madrid.* 66(1): 133-144.
- Garriga M., Muñoz C., Caligari P. & Retamales J. 2015.** Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae.* 195: 37-47.
- González-Chávez B. P., Ojeda-Barrios D. L., Hernández-Rodríguez O. A., Martínez-Téllez J., & Núñez-Barrios A. 2020.** Ectomicorrizas en nogal pecanero: Ectomycorrhizic on pecan. *TECNOCIENCIA Chihuahua.* 3(3): 138-146.
- González-Fuentes J. A., Jiménez-López D., Sandoval-Rangel A., Hernández-Pérez, A, Medrano-Macías, J. & Preciado-Rangel P. 2020.** Efecto de enmiendas minerales sobre el contenido mineral y antioxidantes en frutos de frambuesa. *Biotecnia.* 22(1): 48-55.

- González-Jiménez S. L., Castillo-González A. M., García-Mateos M. R., Valdez-Aguilar, L. A., Ybarra-Moncada C. & Avitia-García E. 2020.** Respuesta de fresa cv. Festival a la salinidad. *Revista fitotecnia mexicana*. 43(1): 53-60.
- Goykovic C. V. & Saavedra R. G. 2007.** Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*. 25(3): 47-58.
- Harley A. D., & Gilkes R. J. 2000.** Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, Netherlands*. 56(1): 11-36.
- Heikham E., Rupam K. & Bhoopander G. 2009.** Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review, *Annals of Botany*. 104(7): 1263–1280,
- Heikham E., Thokchom S. D., Samta G. & Rupam K. 2019.** Mitigation of Salinity Stress in Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Current Understanding and New Challenges. *Frontiers in plant science*. 10: 470.
- Heikham E., Bhoopander G., & Rupam, K. 2012.** Contribution of Glomus intraradices inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza*. 22(3): 203–217.
- Heikham E., Bhoopander, G. & Rupam K. (2013).** Ultrastructural evidence for AMF mediated salt stress mitigation in *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza*. 23(1): 71–86
- Hu C., Xia X., Chen Y. & Han X. 2018.** Soil carbon and nitrogen sequestration and crop growth as influenced by long-term application of effective microorganism compost. *Chilean journal of agricultural research*. 78(1): 13-22.
- Iftikhar S., Saleem M., Ahmad K. S. & Jaffri S. B. 2019.** Synergistic mycoflora–natural farming mediated biofertilization and heavy metals decontamination of lithospheric compartment in a sustainable mode via *Helianthus annuus*. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental* 16: 6735-6752.
- Jung J. K. & McCouch S. 2013.** Getting to the roots of it: Genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in plant science*. 4: 186.
- Khemeshwar V. B. 2018.** The effect of electrical conductivity on growth and development of strawberries grown in deep tank hydroponic systems, a physiological study. *J Pharmacogn Phytochem*. 7(1S): 1939-1944.
- Kumar A., Sharma S. & Mishra S. 2010.** Influence of Arbuscular Mycorrhizal (AM) Fungi and Salinity on Seedling Growth, Solute Accumulation, and Mycorrhizal Dependency of *Jatropha curcas* L.. *J Plant Growth Regul*. 29: 297–306.
- López-Sánchez R. C., Gómez-Padilla E., Campos-Posada R., Eichler-Löbermann B., Rodríguez-Larramendi L. A., Guevara-Hernández F. & Gongora-Mora G. 2018.** Afectaciones en el rendimiento de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) provocado por salinidad. *Cultivos Tropicales*. 39(1): 74-80.

Maiquetía M., A Cáceres. & A Herrera. 2009. Mycorrhization and phosphorus nutrition affect water relation and CAM induction by drought in seedlings of *Clusia minor*. *Ann. Bot.* 103: 525-532.

Medina L., Monsalve Óscar. & Forero A. 2011. Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas.* 4(1): 109-125.

Mingeau M., Perrier C. & Améglio T. 2001. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. *Scientia Horticulturae* 89: 23-40.

Murillo-Amador B., Morales-Prado L., Troyo-Diéguez E., Córdoba-Matson M., Hernández-Montiel L., Rueda-Puente E. & Nieto-Garibay A. 2015. Chaging enviromental conditions and applying organic fertilizers in *Origanum vulgare L.* *Frontiers in Plant Science* 6: 1-15.

Navarro J. M., Pérez T. O., & Morte A. 2014. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. *Journal of plant physiology.* 171(1): 76–85.

Parihar P., Singh S., Singh, R., Singh V. P & Prasad S. M. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res.* 22: 4056–4075.

Quiñones-Aguilar E. E., Hernández C. L. V., López P. L. & Rincón E. G. 2019. Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de Agave como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoamericana,* 37(2): 163-174.

Rabie G. H. 2005. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of soil rhizosphere spiked with poly aromatic hydrocarbons. *Mycobiology* 33: 41-50.

Rahnama A., Munns R., Poustini K. & Watt M. 2011. Un método de detección para identificar la variación genética en la respuesta del crecimiento de las raíces a un gradiente de salinidad. *J. Exp. Bot.* 62: 69–77.

Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Azcón, C., & Aroca, R. 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of experimental botany.* 63(11): 4033–4044.

Russo V. M., & Perkins V. P. 2010. Yield and Nutrient Content of Bell Pepper Pods from Plants Developed from Seedlings Inoculated, or Not, with Microorganisms. *HortScience horts.* 45(3): 352-358

Saldaña T. M., Bejarano C. A. & Guaqueta S. 2017. Efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de tomate tipo chonto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas,* 11(2): 329-342.

Salgado V. C., Sánchez G. P., Volke H. V. H. & Colinas L. M. T. B. 2018. Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) al estrés osmótico. *Agrociencia.* 52(2): 231-239.

Simó-González J. E., Ruiz-Martínez L. A., & Rivera-Espinosa R. 2017. Inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y relaciones suelo pardo-abonos orgánicos en la aclimatización de vitroplantas de banano. *Cultivos Tropicales*. 38(3): 102-111.

Smith S. E., Facelli E., Pope S. & Smith F. A. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant Soil*. 326: 3–20.

Viteri R. S. E., Méndez Z. M. J. & Villamil C. J. E. 2012. Verification of alternatives for sustainable onion production (*Allium cepa L.*) in Cucaita, Boyaca. *Agronomía Colombiana*. 30(1): 124-132.

Wu Q. S, Zou Y. N, Liu W., Ye XF, Zai HF, Zhao LJ. 2010. Alivio del estrés salino en plántulas de cítricos inoculadas con micorrizas: cambios en los sistemas de defensa antioxidante de las hojas. *Entorno de suelo vegetal*. 56: 470–475.

LIBROS

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. 2015. *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Argentina. 180 p.

FAO–Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma. 355 pp.

Jairo Restrepo Rivera y Sbastiao Pinheiro (2009). Agricultura Orgánica La Remineralización de los alimentos y la Salud a partir de la regeneración Mineral del Suelo. Santiago de Cali. Fundación Juquira Candirú. 122 p.

MEMORIAS Y OTROS ENCUENTROS CIENTÍFICOS

Hernández Alvarado, Margarita; Peña Aguilar, Juan Manuel y Pastrana Palma, Alberto de Jesús. 2016. *SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO CON SUSTRATO Y CERRADOS COMO ESTRATEGIA SUSTENTABLE PARA REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE MÉXICO*. In: El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C., México. ISBN AMECIDER: 978-607-96649-2-3 UNAM: 978-607-02-8564-6

PÁGINAS WEB

González G. Gerardo. 2011. Harina de Rocas: Transformando Rocas en Alimentos. <https://www.permacultura.org.mx/es/reporte/harina-de-rocas-transformando-rocas-en-alimentos/>. (Marzo 28, 2021)

FAOSTAT. 2019. The statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/T/TP/>. (Abril 20, 2021).

INTAGRI. 2017. La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>. (Abril 24, 2021)

Lakna. 2019. ¿Cuál es la diferencia entre ectomicorrizas y endomicorrizas? <https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-ectomycorrhizae-and-endomycorrhizae/>. (Mayo 15, 2021).

SIAP. 2020. Avance de siembras y cosechas resumen por estado: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. (Mayo 02, 2021).

TESIS

Altamirano H. R. C. 2004. El cultivo de la fresa para el ciclo otoño-invierno, en california, estados unidos de Norte América. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/43>

Álvarez, Q. M. M. 2017. Efecto de los microorganismos eficaces y frecuencias de aplicación, en el rendimiento del cultivo de la vid (*Vitis vinífera L.*) cv. Red Globe. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1874>

Cornejo R. M C., Valladares A. J. R. & Hernández H. A. M. 2014. Comportamiento de la producción del cultivo de chile dulce (*capsicum annum*) aplicando diferentes dosis de lombriabono en combinación con harina de roca, en el Cantón San José la Labor, municipio de San Sebastián, departamento de San Vicente, año 2013. Tesis de Doctorado, Universidad de El Salvador. Repositorio institucional. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5848>

Rizo H. A. J., Chavarría H. H. A. y Vásquez P. I. A. 2019. Efecto de fertilización con harina de roca en parámetros morfológicos del crecimiento de *Moringa oleifera Lam.* Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nicaragua. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/11279/1/19842.pdf>

Yaselga-Coronel R. S. 2015. Rendimiento de tres variedades de fresa (*Fragaria vesca L*) bajo dos tipos de cobertura de suelos en sistemas de microtúneles. Tesis de Licenciatura. Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/992>

Zaragoza N. R. D. 2013. Evaluación de técnicas hidropónicas de producción en el cultivo de fresa (*fragaria x ananassa*) bajo invernadero. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada. Repositorio CIQA. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis%20MAP%20Ramon%20Donovan%20Zaragoza%20Nieto%20Dic%2018%202013.pdf>