



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) inoculado
con hongos micorrízicos en sustrato con sulfato
de sodio e irrigadas con agua alotropizada, en
condiciones de invernadero**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A N:

JAZMÍN BERENISSE HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

MERCEDES VÁZQUEZ NARANJO

ASESOR: Dr. ARCADIO MONROY ATA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ÀTN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris) inoculado con hongos micorrizicos en sustrato con sulfato de sodio e irrigadas con agua alotropizada, en condiciones de invernadero.

Que presenta la pasante: JAZMÍN BERENISSE HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

Con número de cuenta: 30813049-4 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de noviembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Arcadio Monroy Ata	
VOCAL	Dra. Rosa Navarrete Maya	
SECRETARIO	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
1er. SUPLENTE	M.C. Ana Maria Martinez Garcia	
2do. SUPLENTE	M.C. Laura Virginia Nuñez Balderas	

NOTA: los sindocales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/nsm*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris) inoculado con hongos micorrizicos en sustrato con sulfato de sodio e irrigadas con agua alotropizada, en condiciones de invernadero.

Que presenta la pasante: MERCEDES VÁZQUEZ NARANJO

Con número de cuenta: 30820873-5 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de noviembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Arcadio Monroy Áta	
VOCAL	Dra. Rosa Navarrete Maya	
SECRETARIO	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
1er. SUPLENTE	M.C. Ana Maria Martínez García	
2do. SUPLENTE	M.C. Laura Virginia Nuñez Balderas	

NOTA: los sindocales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

AGRADECIMIENTOS

De manera infinita a nuestra Alma Mater por permitirnos descubrir un mundo de conocimientos, oportunidades y de superación, por formar profesionistas con un sentido humanístico de servicio a la sociedad.

A la carrera de Ing. Agrícola por las experiencias vividas dentro de las aulas de clase, así como las prácticas de campo, gracias a ellas el conocer e interactuar con productores de diferentes partes de la Republica, aprendiendo de sus conocimientos y experiencia, entendiendo los retos futuros a los cuales nos enfrentaríamos, valorando los recursos naturales fuente de la Producción Agrícola.

Con mucho cariño a nuestros padres, de manera muy especial a nuestras madres por su amor, apoyo y paciencia, gracias por educar jóvenes con valores y principios.

A esos brazos amigos que nos apoyaron en el transcurso de nuestra formación, maestros, amigos y familiares.

Al Dr. Arcadio asesor de tesis, por su apoyo, conocimiento y amistad. Es un ejemplo de amor a la enseñanza.

A la Biol. Yolanda Maribel Flores por ser parte de nuestra enseñanza y por todo el cariño compartido.

A nuestro jurado; Dra. Rosa Navarrete Maya, Dr. Gustavo Mercado Mancera, M.C. Ana María Martínez García y M.C. Laura Virginia Núñez Balderas por sus apreciables aportaciones.

Al Sr. Raúl Patiño por el apoyo, información y material para el uso de las celdas alotrópicas.

*“Donde se alza el árbol del conocimiento, allí está siempre el paraíso”:
esto es lo que dicen las serpientes más viejas y las más jóvenes.*

Friedrich Nietzsche

JAZMIN B. HERNANDEZ MARTINEZ

MERCEDES VAZQUES NARANJO

DEDICATORIA

A nuestros seres más queridos, nuestros padres: Eduardo Vázquez Maldonado, Leoncio Hernández Morales, Crispina Naranjo Silva, María Martínez López.

A los maestros de vida, amigos que dejaron una memoria por el resto de nuestra vida a Francisca Robledo Bocanegra por ser quien formo nuestra amistad. †

A nuestra amistad que se fortalece con cada nuevo reto, siendo responsable, honesta y dedicada.

A la persona que se propuso cuidarnos y apoyarnos: Juan Carlos Gonzalez Morales.

“La vida comienza donde termina el miedo”

Osho

JAZMIN B. HERNANDEZ MARTINEZ

MERCEDES VAZQUEZ NARANJO

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Suelo salino-sódico.....	3
2.1.1. Características de los suelos salinos y sódicos.....	3
2.1.2. Efecto de las sales sobre los cultivos.....	4
2.2. Micorrizas.....	4
2.2.1. Morfología de los hongos micorrizógenos arbusculares.....	5
2.2.2. Clasificación del filo Glomeromycota.....	6
2.2.3. Género <i>Glomus</i>	6
2.2.4. Las micorrizas en la agricultura.....	7
2.2.5. Relación planta-hongo micorrizógeno arbuscular.....	7
2.3. Celdas alotrópicas.....	9
2.3.1. Características generales.....	9
2.3.2. Efecto alotrópico en el agua.....	10
2.3.3. Efectos del tratamiento electromagnético del agua en cultivos.....	10
2.4. Generalidades del cultivo de frijol <i>Phaseolus vulgaris L.</i>	11
2.4.1. Morfología del frijol.....	12
2.4.2. Fenología.....	13
2.4.3. Características agronómicas.....	14
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Descripción del área experimental.....	16
3.2. Diseño experimental.....	16
3.2.1. Variables de respuesta.....	17
3.3. Obtención de micorrizas.....	17

3.4.	Obtención de semilla.....	17
3.5.	Preparación del sustrato	18
3.6.	Trasplante.....	18
3.7.	Capacidad de campo	18
3.8.	Riego	19
3.9.	Medición de las variables durante el cultivo.....	19
3.9.1.	Porcentaje de germinación.....	19
3.9.1.1.	Prueba preliminar.....	19
3.9.1.2.	Prueba de germinación.....	19
3.9.2.	Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas	19
3.9.3.	Tasa de crecimiento relativo	19
3.9.4.	Número de yemas florales, número de flores y número de vainas	20
3.10.	Medición de las variables pos-cosecha	20
3.10.1.	Longitud de vaina	20
3.10.2.	Peso húmedo de la vaina.....	20
3.10.3.	Peso seco de la vaina.....	20
3.10.4.	Peso húmedo de raíz	20
3.10.5.	Peso seco de raíz	20
3.10.6.	Porcentaje de colonización.....	21
3.11.	Análisis estadístico.....	21
3.13.	Materiales.....	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Parámetros físico-químicos del suelo de FES-ZARAGOZA	25
4.2.	Germinación.....	26
4.3.	Variables medidas para el cultivo.	27
4.3.1.	Altura de planta	27
4.3.2.	Diámetro de tallo.....	29
4.3.3.	Número de hojas	29
4.3.4.	Tasa de crecimiento relativo	31
4.3.5.	Número de yemas florales	32
4.3.6.	Número de flores.....	33

4.3.7.	Número de vainas.	34
4.4.	Variables medidas pos-cosecha	35
4.4.1.	Longitud de vaina	35
4.4.2.	Peso húmedo de la vaina.....	36
4.4.3.	Peso seco del ejote	37
4.4.4.	Peso húmedo raíz	38
4.4.5.	Peso seco de raíz	39
4.5.	Porcentaje de colonización.....	41
4.6.	Síntesis de resultados	48
V.	CONCLUSIONES	44
VI.	RECOMENDACIONES	45
VII.	LITERATURA CITADA	46
VIII.	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos	5
Figura 2. Imagen de género <i>Glomus</i>	7
Figura 3. Celda alotrópica comercial.....	9
Figura 4. Características morfológicas del frijol.	12
Figura 5. Etapas de desarrollo del cultivo de frijol.....	14
Figura 6. Prueba de germinación en <i>Phaseolus vulgaris</i> correspondientes al uso de agua alotropizada y agua testigo.	27
Figura 7. Altura máxima de <i>Phaseolus vulgaris</i> de cada tratamiento correspondiente.	28
Figura 8. Diámetro de tallo de <i>Phaseolus vulgaris</i>	29
Figura 9. Número de hojas promedio de <i>Phaseolus vulgaris</i> por cada tratamiento.	29
Figura 10. Tasa de crecimiento relativo de <i>Phaseolus vulgaris</i>	31
Figura 11. Número de yemas florales de <i>Phaseolus vulgaris</i>	33
Figura 12. Número de flores de <i>Phaseolus vulgaris</i>	33
Figura 13. Número de vainas promedio de <i>Phaseolus vulgaris</i>	35
Figura 14. Longitud de vaina en <i>Phaseolus vulgaris</i>	36
Figura 15. Peso húmedo de la vaina en <i>Phaseolus vulgaris</i>	36
Figura 16. Peso seco del ejote en <i>Phaseolus vulgaris</i>	37
Figura 17. Peso húmedo de raíz en <i>Phaseolus vulgaris</i>	39
Figura 18. Peso seco raíz de <i>Phaseolus vulgaris</i>	39
Figura 19. Porcentaje de colonización en <i>Phaseolus vulgaris</i>	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares	6
Tabla 2. Variables de respuesta	17
Tabla 3. Materiales utilizados en la obtención y desinfección del suelo.....	23
Tabla 4. Materiales utilizados en el montaje de los tratamientos.	23
Tabla 5. Materiales utilizados durante el mantenimiento de las unidades experimentales y toma de datos.	24
Tabla 6. Materiales de laboratorio para la obtención de los resultados.....	24
Tabla 7. Características físicas del suelo	25
Tabla 8. Características químicas	25
Tabla 9. Variables de respuesta con significancia.	49

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Diseño experimental utilizado en el cultivo de frijol.....	16
Diagrama 2. Metodología desarrollada.	22

RESUMEN

En México la salinidad y sodicidad en el suelo es un problema que afecta áreas agrícolas repercutiendo en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que se realizan diversas prácticas para disminuir los niveles de salinidad y/o sodicidad. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto en el desarrollo fisiológico de *Phaseolus vulgaris* L., como resultado a la inoculación con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), utilizando un sustrato al que se le adicionó sulfato de sodio y fue irrigado con agua alotropizada, bajo condiciones de invernadero. La investigación se llevó a cabo en un invernadero dentro de las instalaciones de la FES Zaragoza *Campus* II, ubicado al oriente de la Ciudad de México (CDMX). El sustrato se obtuvo de suelo del Vivero del *Campus*. El diseño experimental consistió en aplicar tres factores: la adición de sulfato de sodio con dos niveles (con y sin Na₂SO₄), la micorrización con dos niveles (con y sin inóculo) y riego con dos niveles (con y sin agua alotropizada), siendo un total de 8 tratamientos con 10 repeticiones cada uno. El agua alotropizada se obtuvo del tratamiento por 4 células cilíndricas alotrópicas comerciales hechas de metal de latón (12 cm de largo, 2.5 cm de diámetro) en un tanque de agua de 200 L; las celdas desarrollan una reacción electroquímica reversible (Zn-Cu) en el interior, generando un campo electromagnético que mejora la solubilidad de la sal y la absorción de agua por las plantas. Los resultados mostraron que en las variables: germinación, altura máxima, diámetro de tallo, número de hojas, número de vainas y longitud de vaina, no hubo diferencias significativas entre tratamientos; en contraste, las variables: número de yemas florales, número de flores, peso húmedo y peso seco del fruto, peso húmedo y peso seco de raíz, así como el porcentaje de colonización, son estadísticamente significativas a favor del cultivo irrigado con agua alotropizada, con Na₂SO₄ e inoculado con hongos micorrízicos. Se concluye que el incremento en la biomasa observado es resultado a la sinergia entre hongos micorrízicos-planta-agua alotropizada. Se recomienda llevar el experimento a condiciones de campo para su evaluación, y así determinar el efecto conjunto del uso de agua de riego alotropizada y la inoculación de frijol con hongos micorrízicos arbusculares, sobre el rendimiento de esta leguminosa.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en los suelos es la acumulación de sales solubles en la zona radical de los cultivos, lo cual es un factor limitante para la producción en la agricultura, provocando condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas y con ello la disminución del rendimiento en los cultivos (Mata *et al.*, 2014). La salinidad afecta a las plantas en forma bioquímica y fisiológica ya que disminuye el potencial osmótico del agua del medio nutritivo haciendo difícil la extracción de nutrientes y agua de la zona radicular. En México se considera que un 10% del área irrigada está afectada por salinidad y de está el 64% se localiza en el norte del país (Ruiz *et al.*, 2007).

En 2018 Hachicha *et al.*, obtuvo un efecto significativo en la disminución de la salinidad y sus efectos negativos en el suelo y cultivos mediante un tratamiento electromagnético.

Uno de los cultivos con poca tolerancia a la salinidad es el frijol; en México es de suma importancia, la domesticación del género *Phaseolus*, desde la época prehispánica ha sido importante en la alimentación de la población; el frijol es considerado por la FAO como grano básico de alimentación por ser una fuente importante de proteína (Aceves, 2011).

Diferentes estudios señalan el uso de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) llamadas micorrizas tienen un efecto en las relaciones hídricas de la planta y del suelo en condiciones de estrés, que modifican la conductividad estomática, la tasa fotosintética y la transpiración en las plantas, mientras que los exudados fúngicos promueven la cohesión de las partículas del suelo e incrementan la retención de agua en el sustrato (Harris *et al.*, 2009). Las micorrizas son asociaciones mutualistas que se establecen entre las raíces de las plantas con un tipo de hongos llamados micorrízicos (filo Glomeromycota) (Trappe, 1987).

Con base en lo anterior el presente trabajo tuvo como finalidad determinar si existe un efecto sinérgico en plantas de frijol (*P. vulgaris* L.) que se desarrollaron en un sustrato salino para analizar su comportamiento al ser inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) e irrigadas con agua alotropizada.

1.1. Objetivo general

Determinar el efecto sobre el desarrollo fisiológico de plantas de frijol *Phaseolus vulgaris* L. debido a la inoculación de hongos micorrízicos, a la utilización de un sustrato con 120 ppm de sulfato de sodio y el uso de agua alotropizada en el riego, bajo condiciones de invernadero.

1.1.1. Objetivos específicos

- Comparar el desarrollo fisiológico del frijol *Phaseolus vulgaris* L. irrigando con agua alotropizada, micorrizados y su testigo, adicionando Na₂SO₄.
- Evaluar si hay un efecto sinérgico entre el uso de agua alotropizada y la inoculación micorrízica para el frijol *Phaseolus vulgaris* L.

1.2. Hipótesis

- El desarrollo de frijol en un sustrato con sulfato de sodio, hongos micorrizicos y el uso de agua alotropizada para la irrigación tendrá un incremento en su biomasa por la sinergia de hongos micorrízicos-planta y hongos micorrízicos-planta-agua alotropizada, respecto a los tratamientos sin micorriza y regados con agua normal.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelo salino-sódico

La salinización y sodificación de los suelos agrícolas son unos de los problemas más serios que enfrenta la agricultura actualmente (Mata *et al.*, 2014). La salinización natural o primaria de los suelos en México es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales. La salinidad secundaria se produce por la agricultura intensiva con el uso excesivo de agroquímicos, la disposición de desechos industriales, prácticas inadecuadas de irrigación como el uso de aguas residuales entre otras actividades son causantes de la acumulación de sales (Ríos, 2004).

Aguirre (1993) define la salinización del suelo como el incremento en la concentración y la eventual precipitación de sales de la solución del suelo. Desde el punto de vista fisicoquímico, la salinidad se expresa en términos de conductividad eléctrica (C.E.), la cual indica la velocidad con la que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, siendo ésta proporcional a la concentración de sales en la solución (Mata *et al.*, 2014). Asimismo, el intercambio gradual de la saturación de Na en el complejo de intercambio del suelo es llamado “sodicación”. La tasa con que ocurre este proceso depende de la composición y concentración del agua añadida al perfil, de la cantidad de agua aportada anualmente y de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Las sales solubles más comunes en el suelo son los cationes de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ combinados con los aniones Cl^- y SO_4^{2-} . Una razón de esto es que con la excepción del yeso, las combinaciones de estos iones son altamente solubles en agua y pueden ser transportadas y depositadas en los sitios de acumulación (Allison *et al.*, 1977; Aguirre, 1993).

2.1.1. Características de los suelos salinos y sódicos

Los suelos salinos presentan una conductividad eléctrica de 4 ó más dS/m del extracto de saturación de sales solubles como los cloruros, sulfatos de sodio y magnesio a una temperatura 25 °C con un pH de 7.3 a 8.5 y menos de 15 % de sodio intercambiable (PSI) (Allison *et al.*, 1977; Mata *et al.*, 2014).

Los suelos salino-sódicos se caracterizan por tener un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) por encima de 15 %, una conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación mayor 4,0 dS/m. El pH de una pasta saturada es comúnmente mayor a 8.5 en suelos salino-sódicos, sin embargo, no es un criterio de diagnóstico para determinar si es un suelo sódico porque hay suelos salino-sódicos con valores de pH mayores que 8.5 (Allison *et al.*, 1977; Aguirre, 1993; Mata *et al.*, 2014).

2.1.2. Efecto de las sales sobre los cultivos

La salinidad y sodicidad afecta a las plantas en forma bioquímica y se puede ver reflejada de manera fisiológica, altas concentraciones de iones como el Na⁺ puede ser tóxico induciendo desórdenes metabólicos como alteración en la asimilación de CO₂; Otra afectación es que disminuye el potencial osmótico del agua del medio nutritivo haciendo difícil la extracción del agua y nutrientes de la zona radical lo cual interfiere con el metabolismo celular (Aguirre, 1993; Mata *et al.*, 2014).

Uno de los síntomas característicos de la afectación por la salinidad en las plantas es la disminución de la talla con una variabilidad considerable en el tamaño, presenta hojas pequeñas con un color azul-verdoso, el desarrollo radical es menos denso y se reduce su rendimiento a medida que aumenta la salinidad (Allison *et al.*, 1977; Aceves, 2011).

2.2. Micorrizas

En el suelo habita una comunidad diversa y compleja de microorganismos, que incluyen algas, bacterias y hongos que, junto con los virus y los componentes de la micro, meso y macrofauna, forman la biota del suelo (Montaño 2008). Entre ellos también están los HMA, los cuales forman asociaciones ecológicamente mutualistas entre hongos del *phylum* Glomeromycota y la mayoría de las plantas, por lo que son capaces de colonizar las raíces y así, acceder a los recursos de las plantas (Trappe, 1987). Al darse esta asociación, ocurren cambios físicos y químicos en la rizósfera promovidos por los cambios en la fisiología del hospedero y de los hongos micorrizógenos arbusculares (Álvarez, 2009).

En 1977 Harrison, menciona que el término micorriza significa “hongo de la raíz” la cual se describe la asociación mutualista que ocurre entre la raíz y el hongo (Figura 1). Su función es facilitar la absorción de elementos minerales a la planta hospedera, tales como fósforo,

nitrógeno, cobre, zinc, mientras que la planta provee al hongo de compuestos carbonados producto de la fotosíntesis y de un hábitat, todo ello se puede ver reflejado, en mayor crecimiento vegetal en altura, biomasa y en supervivencia. Además, se puede reducir el efecto de patógenos de las raíces. La micorriza también puede incrementar la tolerancia al estrés hídrico, ya que las plantas inoculadas son capaces de capturar más eficientemente el agua a través de las hifas, ya que tienen un mayor alcance en el suelo y la simbiosis influye en las comunidades microbianas rizosféricas (Álvarez, 2009).

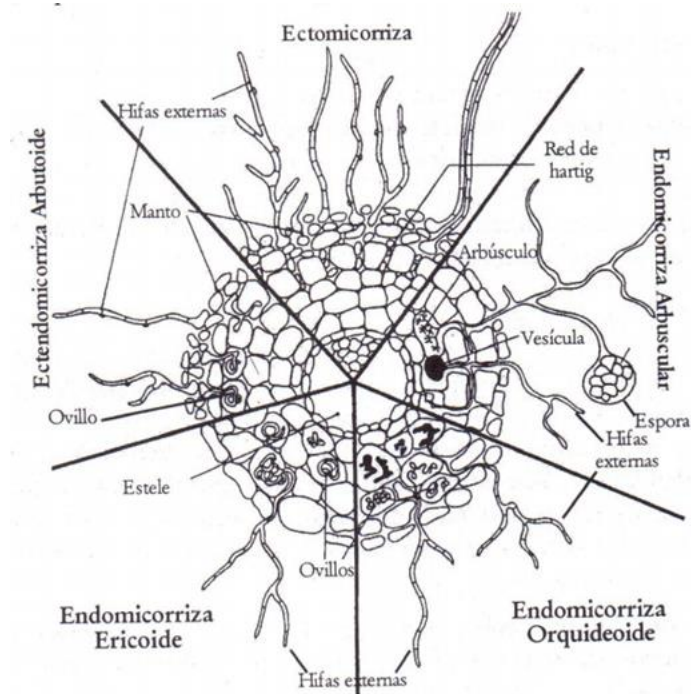


Figura 1. Esquema de los diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos (Hernández, 2003).

2.2.1. Morfología de los hongos micorrizógenos arbusculares

Los HMA forman estructuras dentro de la raíz. Este sistema se conforma por hifas dentro de las células corticales de la planta que colonizan, ramificándose al suelo. Las hifas pueden modificarse en la raíz como arbuscúlos y vesículas. Las vesículas son órganos de almacenamiento de lípidos, los arbuscúlos son estructuras donde el hongo transfiere elementos nutritivos a la planta y recibe los carbohidratos en forma de azúcares simples que se producen en la fotosíntesis (Cuevas, 2003; Barrer, 2009).

2.2.2. Clasificación del filo Glomeromycota.

Tabla 1. Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares (Arias *et al.*, 2007).

Phylum	Orden	Familia	Género
Glomeromycota	Archaeosporales	Geosiphanceae	<i>Geosiphon</i>
		Archaeosporaceae	<i>Archeospora</i>
	Diversisporales	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>
		Acaulosporaceae	<i>Entrophospora</i>
			<i>Acaulospora</i>
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
		<i>Scutellospora</i>	
	Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>	
	Glomerales	Glomeraceae (A)	<i>Glomus</i>
		Glomeraceae (B)	<i>Glomus</i>
Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>	

2.2.3. Género *Glomus*

En este género las esporas se forman sobre una “hifa de sostén”, solitarias, en agregados laxos o en esporocarpos. La micorriza se tiñe con el reactivo de Melzer a una coloración rosa, rojo, magenta o púrpura. Los arbusculos tienen troncos aplanados o cilíndricos adelgazándose sucesivamente en las ramificaciones. Esporas con la pared formada por un número variable de capas todas originadas a partir de la hifa de sostén. Las esporas germinan a través del lumen de la hifa de sostén o a través de la pared de la espora (Figura 2). Este género está representado por más 100 especies de HMA y por lo tanto tiene el mayor número de especies en grupo (Hernández, 2003)

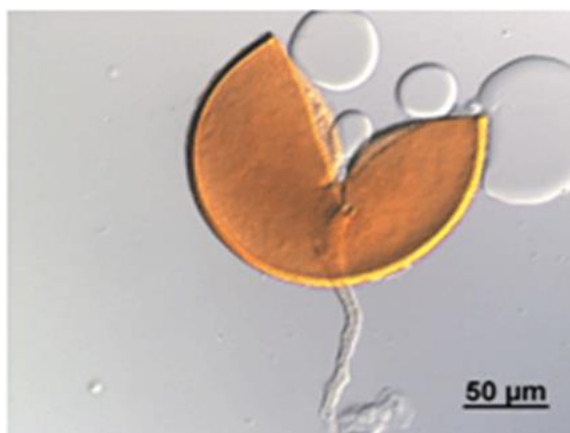


Figura 2. Imagen de género *Glomus* (Medina, 2010).

2.2.4. Las micorrizas en la agricultura

Los excesos de agroquímicos que se tienen en la agricultura con las distintas labores de cultivo que se llevan a cabo para aumentar los rendimientos han ocasionado una degradación de los recursos empleados para el desarrollo de los cultivos. Por ello actualmente se están desarrollando prácticas y herramientas para generar una agricultura sustentable (Jeffries *et al.* 2011; Cuenca 2007). Los HMA en la agricultura según Barrer (2009); Azcón y Atrach, (1997), pueden ser una alternativa en la producción, ya que los HMA contribuyen a mejorar el nivel nutricional de las plantas debido a que aumentan el área de las raíces y su capacidad de absorber agua y nutrientes.

2.2.5. Relación planta-hongo micorrizógeno arbuscular

En las plantas, los elementos claves son la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa, el uso de la energía química en la reducción del CO₂ y de otros sustratos, la incorporación de asimilados en nuevas estructuras de la planta y el mantenimiento de las unidades vivas (Quintana *et al.*, 2016).

En los sistemas simbióticos micorrízicos la relación entre crecimiento y metabolismo depende de la eficiencia con la que se utiliza el carbono fijado por la planta, en respuesta a la asociación y transferencia del carbono hacia el hongo para su mantenimiento; es decir, la cantidad de nutrimentos adquiridos por unidad de carbohidratos utilizados por el hongo simbionte (Quintana *et al.*, 2016).

Los hongos (HMA) incrementan la adquisición de nutrientes que no están disponibles para las plantas, principalmente P y N. Asimismo, los HMA tienen influencia sustancial en la fisiología y las relaciones hídricas de la planta en condiciones de estrés (Quintana *et al.*, 2016).

La sequía es un periodo crucial en el que las plantas experimentan estrés de competencia por agua, durante el cual deben ajustar sus procesos fisiológicos para contrarrestar dicho estrés, como la producción de compuestos osmoprotectores como prolina, glicina betaína, glutatión y osmosensores como el ácido abscísico, que regulan procesos como la apertura de estomas y el incremento en la tasa de fijación de oxígeno mediante fotorrespiración para mantener la proporción necesaria de ATP/NADPH en el ciclo de reducción del carbono fotosintético (Quintana *et al.*, 2016).

El desarrollo del micelio externo del HMA en el suelo mejora la absorción de agua por la planta, disminuye la peroxidación de lípidos, aumentan las relaciones $K^+ : Na^+$ y relaciones de $Ca^{2+} : Na^+$, e incrementa la producción de glicina betaína y prolina (Quintana *et al.*, 2016).

La mitigación del efecto negativo del estrés hídrico por la micorrización es resultado de modificaciones de los balances hídrico (transpiración y uso eficiente del agua) y nutricional específico para P, N y K (Quintana *et al.*, 2016).

Los HMA producen exudados de proteínas (denominados "glomalinas") que están correlacionados positivamente con la estabilidad de los agregados de agua en el suelo, ya que tienen una degradación relativamente lenta en comparación con los exudados del sistema radical (Quintana *et al.*, 2016).

El desarrollo de micelio extrarradical permite a las raíces tener un mayor acceso al agua del suelo y aumentar así su hidratación, lo que mejora el metabolismo vegetal aun en condiciones de estrés ambiental (Quintana *et al.*, 2016).

La tolerancia a la salinidad por parte de las plantas micorrizadas se debe principalmente a que los HMA mejoran el estado nutricional del hospedero y facilitan la asimilación de P, la cual se dificulta en suelos salinos. El incremento en la concentración de N en condiciones de salinidad también puede mejorar el metabolismo de la planta, al favorecer la síntesis de proteínas (Quintana *et al.*, 2016).

Si bien el Na^+ tiene un efecto antagónico con el Mg^{2+} , lo que afecta la síntesis de clorofila, la presencia de HMA mejora la concentración de Mg^{2+} en los tejidos vegetales y así disminuye o elimina el efecto antagónico del Na^+ (Quintana *et al.*, 2016).

2.3. Celdas alotrópicas

2.3.1. Características generales

La “celda alotrópica” (Marca Registrada por Alotropía Aplicada de México, S.A. de C.V.)[®], es un dispositivo usado en la prevención y corrección del depósito de sarros, sales minerales en sistemas acuosos y de combustión. Las celdas han sido utilizadas con éxito en la industria que involucra procesos de intercambio de calor (calderas, torres de enfriamiento), en sistemas de agua potable y de uso doméstico, también se han empleado en el diésel de los autobuses de transporte público de algunas ciudades de Estados Unidos, para evitar la oclusión de inyectores y disminuir la emisión de gases contaminantes (López, 2005).

En 2005 López describe la celda alotrópica como un dispositivo que consiste en una cámara cilíndrica cerrada, herméticamente sellada de latón (tubo comercial de una aleación de 64 % de cobre y 32 % de zinc, que fue determinado por E.D.S (Espectro de dispersión de energía) (López, 2005). El tipo de celda utilizado en este estudio mide 2.5 cm de diámetro y 13 cm de longitud (Figura 3).



Figura 3. Celda alotrópica comercial (Elaboración propia).

2.3.2. Efecto alotrópico en el agua

El agua es el elemento más abundante y el de mayor importancia para la vida sobre el planeta. Su estructura molecular son dos átomos de hidrógeno que están separados entre si por un ángulo de 105° adyacentes al oxígeno por lo que tiene dos cargas una positiva (+) y una negativa (-) por esta razón se dice que es dipolar. Esto hace que las moléculas se aglomeren unas con otras por lo que forman “puentes de hidrógeno” (González, 2008)

Las aguas naturales siempre contienen componentes químicos como sales minerales como los cloruros (Cl^-), los sulfatos (SO_4^{2-}) y algunos carbonatos ($\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}^-$), de los cationes de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) (Aguirre, 1996). Dependiendo de la cantidad de minerales disueltos se puede clasificar en agua dura o blanda, alcalina o ácida.

Los problemas ocasionados por la reacción de los minerales son: la incrustación, corrosión y óxido-reducción, para evitarlo se utilizan múltiples tratamientos en el agua que son caros y altamente contaminantes. Una alternativa para este problema es el fenómeno “físico alotrópico”, consiste en polarizar las sales que están en disolución y suspensión en los iones formados en la solución, alineándolos conforme a la orientación del campo electromagnético generado a través de una reacción reversible óxido-reducción, dándoles un estado amorfo para evitar la formación de cristales y los efectos de incrustación, corrosión y óxido-reducción, convirtiéndose en desincrustante, anticorrosiva y antioxidante (González, 2008; López, 2005).

Estos efectos son muy semejantes a los que inducen los dispositivos magnéticos en el sarro. Existen diversos estudios sobre el tratamiento magnético en el agua de riego sobre cultivos donde mencionan los beneficios como, mayor disponibilidad de nutrientes, mejor hidratación de las plantas, evita problemas en los sistemas de riego por sarro. (Zúñiga, 2016).

2.3.3. Efectos del tratamiento electromagnético del agua en cultivos.

El mecanismo exacto del efecto de los campos magnéticos en los organismos vivos aún no está claro. El tratamiento con campos magnéticos para mejorar el crecimiento de las plantas no es costoso y, al mismo tiempo, no es peligroso para el medio ambiente la tecnología del tratamiento físico del agua mediante un dispositivo magnético que funciona con muy baja frecuencia y muy bajas intensidades, permite recrear la estructura de agua natural y optimizada

en su capacidad para disolver y transportar minerales. El tratamiento de agua electromagnética permite el riego con agua salina sin ningún efecto perjudicial sobre las plantas (Hachicha *et al.* 2018).

Los efectos del tratamiento magnético en el agua de riego incluyen el aumento del número de centros de cristalización y la alteración del contenido de gas libre. Ambos efectos mejoran la calidad del agua de riego (Yadollahpour *et al.*, 2014).

El tratamiento magnético del agua de riego tiende a cambiar el pH del suelo, la CE, el P disponible y el K extraído en la cosecha del cultivo (Hachicha *et al.*, 2009).

Estudios realizados muestran que el tratamiento electromagnético del agua es significativo por ejemplo: tasa de germinación de las semillas de maíz, mayor absorción de nutrientes (N,P,K) en papa y disminución de la toxicidad de los iones al disminuir el contenido de Na⁺ en las plantas aumentan el número de flores e incrementan el rendimiento de frutos tienen mejor tasa de crecimiento y aumento en el peso de la raíz. Por lo tanto, el tratamiento electromagnético tiene un efecto positivo en el rendimiento (Hachicha *et al.*, 2018) (Yadollahpour *et al.*, 2014).

2.4. Generalidades del cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris L.*

El frijol es originario de América, entre México y Guatemala; su nombre científico es *Phaseolus vulgaris L.*; pertenece a la familia de las leguminosas, en donde existe una gran diversidad de variedades debido a sus diferentes hábitos de crecimiento, color y forma de la vaina (Durán, 2007).

Su valor nutritivo depende de si el frijol es fresco o seco. En 100 g de producto fresco contiene lípidos, glúcidos, agua, proteínas (6.2 g), fibra, vitaminas A (108 mg) B₁, B₂, C, calcio (44 mg), hierro y fósforo (180 mg) según Palomino, 2010.

2.4.1. Morfología del frijol

- ◆ Planta: planta de tipo anual, con un periodo vegetativo entre 90 y 270 días de acuerdo a la altura donde se siembre. Tiene hábitos de crecimiento determinado o arbustivo, e indeterminado.
- ◆ Sistema radical: la raíz tiende a ser fasciculada o fibrosa con una amplia variación dentro de variedades. En general se consideran de mediana profundidad, ya sea arbustivas o de enredadera.
- ◆ Tallo: puede ser erecto, voluble y en cada nudo aparecen las ramas o las hojas. Los tallos pueden ser glabros (sin pubescencias) o pubescentes.
- ◆ Hojas: trifoliolada, de peciolo largos con estipulas pequeñas y agudas, con o sin pubescencias.
- ◆ Flores: están colocadas en un racimo terminal o lateral. La flor es considerada completa formada por cinco elementos, dos alas, una quilla y dos estambres. El color de la flor puede ir de morado intenso a blanco. La especie es considerada en un 95% autógama.
- ◆ Fruto: es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido, tiene dos suturas a lo largo de las valvas, una denominada versal y otra ventral. En el interior del fruto en legumbre se localizan de cuatro a seis semillas (Durán, 2007) (Figura 4).

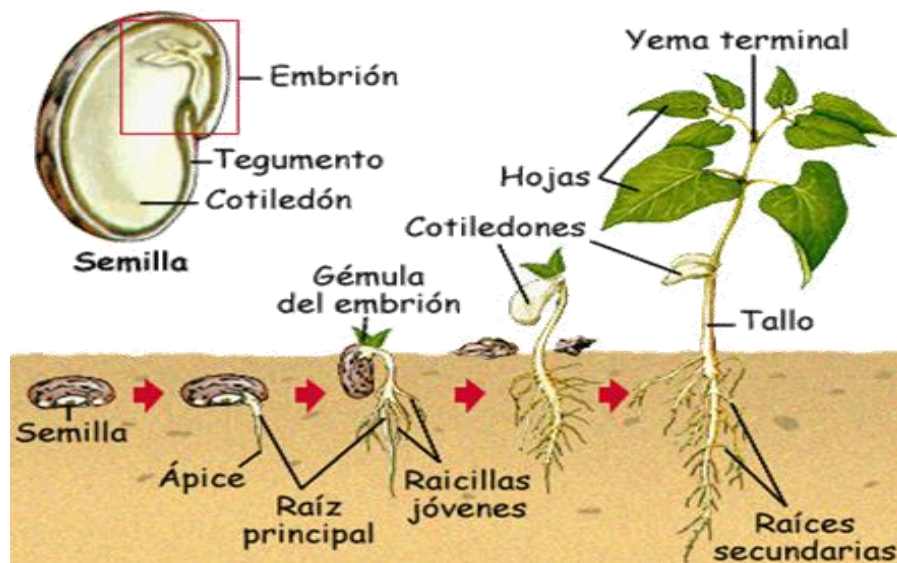


Figura 4. Características morfológicas del frijol (Durán, 2007).

2.4.2. Fenología

En el desarrollo de la planta de fríjol según Escalante y Kohashi (2015) se han identificado 10 etapas (Figura 5), estas están delimitadas por eventos fisiológicos importantes los cuales tienen una duración variable debido a los diferentes factores como la variedad, condiciones ambientales y hábito de crecimiento.

a) Fase vegetativa

Esta etapa comprende desde el inicio de la germinación hasta el momento de la diferenciación de los primordios florales.

La germinación (V-0) es la primera etapa; es aquella donde la semilla absorbe agua y ocurren en ella los fenómenos de división celular además de reacciones bioquímicas que liberan los nutrimentos de los cotiledones, emergiendo luego la radícula y raíces secundarias. Posteriormente comienza la emergencia (V-1) la cual inicia cuando los cotiledones aparecen a nivel del suelo, se endereza el gancho plumular, los cotiledones comienzan a separarse y se continúa con el desarrollo del tallo seguido el proceso del despliegue de las hojas primarias.

En la etapa de hojas primarias (V-2) es en donde están completamente desplegadas, el desarrollo continúa con la expansión de las hojas primarias y de los folíolos de las hojas compuestas, después inicia la etapa de la primera hoja trifoliada (V-3) siendo cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana, seguido comienza la etapa tercer hoja trifoliolada (V-4) que se despliega como la anterior. A partir de esta etapa se hacen claramente diferenciables algunas estructuras vegetativas como el tallo, las ramas y las hojas trifolioladas que se desarrollan a partir de las tríadas de yemas.

b) Fase reproductiva

La etapa reproductiva se inicia cuando se presenta la antesis es decir la diferenciación de yemas florales.

Al iniciar la primera flor abierta comienza la etapa de prefloración (R-5) y dependiendo del hábito de crecimiento es en donde se desarrolla la flor, una vez ocurrido se inicia la etapa de floración (R-6) con la antesis de la primera flor (la primer flor abierta), en un lapso de tres a cuatro días se marchitan las flores o en su defecto se desprende dejando la vaina.

La etapa de formación de las vainas (R-7) inicialmente comprende a partir de la caída de la corola. La vaina consta de pericarpio y semillas, crece rápidamente en longitud siendo en promedio de dos a tres semanas, entonces seguido comienza la etapa de llenado de las vainas (R-8) con la primera vaina, debido a que se inicia su crecimiento acelerado de las semillas. Asimismo, empieza la senescencia de la hoja, con la pérdida del color verde tornándose amarillas, y ocurre la abscisión de los folíolos individuales.

La etapa de maduración (R-9) se caracteriza por la decoloración y el secado de las vainas. En el cultivo, el inicio de esta etapa se considera cuando la primera vaina inicia el proceso citado en el 50% de las plantas. Al final del ciclo ha perdido todos los folíolos, y queda algunas veces el raquis unido a los tallos y las vainas unidas a la planta.

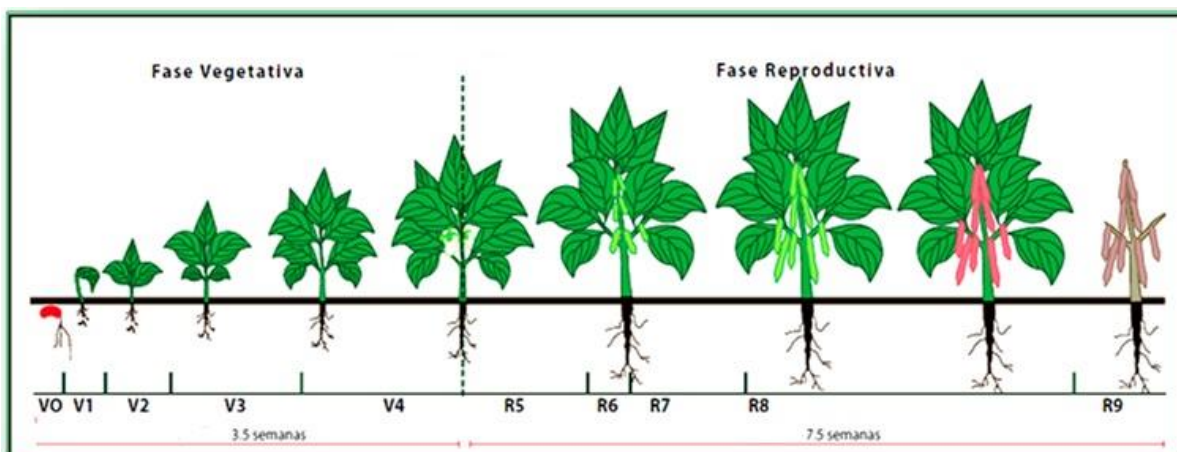


Figura 5. Etapas de desarrollo del cultivo de frijol (IICA, COSUDE 2018)

2.4.3. Características agronómicas.

En términos generales la planta de frijol desde su germinación hasta la producción de frutos requiere temperaturas que oscilan en promedio entre 10 a 27 °C con una óptima de 18 °C; las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas causan una aceleración; las necesidades de agua durante el crecimiento y desarrollo son de 300 mm a 400 mm durante el ciclo de cultivo; admite una amplia gama de suelos, los más indicados son los franco-arcillosos con un pH de 5.5 a 7.5 (Durán, 2007; Arias, 2007). El frijol común es sensible a la salinidad, ya que puede reducir su rendimiento hasta en un 50%, cuando se presenta una conductividad eléctrica (CE) del suelo, mayor o igual a 2 dS m⁻¹, equivalente a 20 mM NaCl (Quintana *et al.*, 2016). Deben ser suelos profundos con buen drenaje, sin problemas de salinidad ni exceso

de sodio. En cuanto a luz, el fríjol, generalmente es una especie de días cortos, los días largos tienden a causar demora en la floración y la madurez. Cada hora más de luz por día puede retardar la maduración de dos a seis días (Durán, 2007; Arias, 2007).

III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área experimental

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo II, ubicada en la zona oriente de la Ciudad de México (CDMX). El desarrollo del experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, perteneciente a la carrera de Biología en la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal.

3.2. Diseño experimental

Constó de un arreglo bifactorial (micorrización y agua alotropizada) con 3 tratamientos y 1 testigo, cada uno con 10 repeticiones las cuales constó de una maceta con una planta (Figura 6). Siendo un total de 80 repeticiones o unidades experimentales. La distribución de las unidades experimentales tuvo un arreglo al azar.

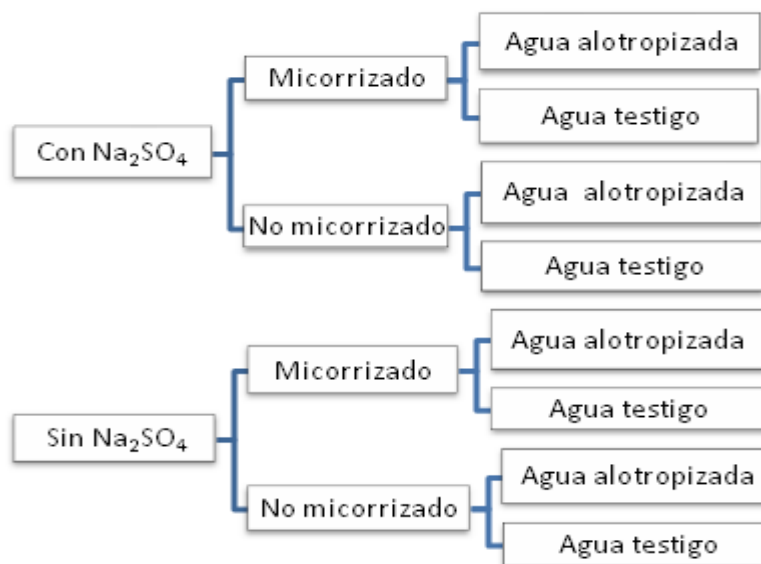


Diagrama 1. Diseño experimental utilizado en el cultivo de frijol.

A los tratamientos se les asignó una letra para su identificación, las cuales son:

- A.- Na_2SO_4 - Micorrizado - H_2O Testigo
- B.- Na_2SO_4 - No micorrizado - H_2O Testigo
- C.- Na_2SO_4 - Micorrizado - H_2O Alotropizada
- D.- Na_2SO_4 - No micorrizado - H_2O Alotropizada
- E.- Sin Na_2SO_4 - No micorrizado - H_2O Alotropizada

F.- Sin Na₂SO₄-Micorrizado-H₂O Alotropizada

G.-Sin Na₂SO₄-Micorrizado-H₂O Testigo

H.-Sin Na₂SO₄- No micorrizado -H₂O Testigo

3.2.1. Variables de respuesta

Tabla 2. Variables de respuesta

	Frijol
DURANTE EL CULTIVO	Porcentaje de germinación
	Altura
	Diámetro de tallo
	No. de hojas
	Tasa de crecimiento relativo
	No. de yemas florales
	No. de flores
	No. de vainas
COSECHA	Longitud de la vaina
	Peso húmedo del ejote
	Peso seco del ejote
	Peso húmedo de raíz
	Peso seco de raíz
	Porcentaje de colonización

3.3. Obtención de micorrizas

Para la aplicación de las micorrizas correspondiente a cada unidad experimental, se adquirió 1kg de Micorrizafer (*Glomus intraradices*), ahora llamados *Rizophagus irregularis* de la empresa Biofabrica siglo XXI la cual contiene 100 000 propágulos (esporas, hifas) de hongos micorrízicos por gramo de producto.

3.4. Obtención de semilla

La semilla de frijol negro criollo se obtuvo de la cosecha 2015 proveniente de una localidad que pertenece al Municipio de San Juan Tamazola, Nochixtlán, Oaxaca.

3.5. Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato se utilizó suelo que se colectó dentro del *Campus* de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo II, en el área de viveros. El suelo para su preparación se tamizó con una malla de 2 mm con el fin de obtener una partícula fina e uniforme, una vez obtenido, se esterilizó tres veces en autoclave, a una temperatura de 110-120°C y una presión de 2.5 lb; de igual manera se desinfectó la arena sílica de granulometría media (Anexo 1).

Una vez esterilizado tanto el suelo como la arena sílica, se realizó la mezcla del sustrato en una relación 2:1 respectivamente, colocando en cada maceta 1600 gramos del sustrato; posteriormente se adicionó 1 g de sulfato de sodio, el cual se diluyó 10 g en 100 ml de agua destilada a los tratamientos asignados previamente. Para los tratamientos micorrizados se agregaron 5 g de inóculo comercial (Biofabrica siglo XXI) mezclado con 100 ml de agua para uniformizar su distribución.

3.6. Trasplante

Se efectuó el 14 de septiembre del 2016, y se colocó una planta por maceta según el tratamiento correspondiente de agua alotropizada y agua testigo (Anexo 2), cabe mencionar que se realizó una prueba de germinación para obtener las plantas.

3.7. Capacidad de campo

Para la obtención de la capacidad de campo se utilizó el método de la columna; del sustrato utilizado se hizo pasar 250 ml de agua en 50 g de suelo seco por un papel filtro y con la ayuda de un embudo se dejó reposar hasta tener peso constante y realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$CC = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 = \%$$

Psh= Peso húmedo del suelo

Pss= Peso seco del suelo

Como resultado obtenido la CC= 30%

3.8. Riego

Se realizaron riegos de 100 ml cada tercer día, con base en los resultados obtenidos en la prueba de capacidad de campo, con agua alotropizada y agua testigo respectivamente al tratamiento asignado.

3.9. Medición de las variables durante el cultivo

3.9.1. Porcentaje de germinación

3.9.1.1. Prueba preliminar

Para determinar la cantidad de semilla necesaria, así como la viabilidad de estas, se realizó una prueba preliminar de germinación, la cual consistió en colocar 10 semillas de frijol en dos cajas de Petri durante una semana.

3.9.1.2. Prueba de germinación

La prueba de germinación para la obtención de plántula, basada en el total de semillas necesarias que se obtuvo en la prueba preliminar, se realizó en dos charolas de 200 cavidades, la primera regada con agua alotropizada y la segunda con agua testigo. Para su desinfección se llevó a cabo un lavado de hipoclorito de sodio al 10%, posteriormente se colocaron las semillas en un sustrato compuesto de agrolita y vermiculita.

3.9.2. Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas

Se tomaron los datos con el uso de una cinta métrica y vernier, cada 10 días.

3.9.3. Tasa de crecimiento relativo

La tasa de crecimiento relativo (TCR), es una variable útil para evaluar el desempeño de una especie ante cualquier condición ambiental que pueda afectar su crecimiento (Villar *et al.*, 2004). El TCR se obtuvo aplicando la siguiente fórmula a cada una de las plantas de cada tratamiento:

$$\text{TCR} = [\ln(L2) - \ln(L1)] / t(\text{días})$$

Donde: L2 = Altura final
L1 = Altura inicial
t = Tiempo

3.9.4. Número de yemas florales, número de flores y número de vainas

A partir de su aparición se contabilizó, tomando el mayor número registrado.

3.10. Medición de las variables pos-cosecha

3.10.1. Longitud de vaina

Al momento de la cosecha se tomaron las 10 plantas de cada tratamiento utilizando un vernier

3.10.2. Peso húmedo de la vaina

Al término del experimento que cosecharon el total de vainas de las 10 plantas por tratamiento.

3.10.3. Peso seco de la vaina

Para la obtención del peso seco se colocaron en un secador los frutos manteniéndose a una temperatura aproximada de 35 °C por 3 días. (Arcadio, 2019)

3.10.4. Peso húmedo de raíz

Se obtuvieron las raíces de las 10 plantas de cada tratamiento, retirando el sustrato, ayudado de un lavado.

3.10.5. Peso seco de raíz

Se tomaron 5 plantas para el secado de la raíz, las otras 5 de utilizaron en la prueba de % de colonización, las raíces se colocaron en una secadora de frutos a una temperatura aproximada de 35°C por una semana (Arcadio, 2019).

3.10.6. Porcentaje de colonización

Se obtuvo un gramo de raíz húmeda de 5 plantas para la obtención del porcentaje de colonización, se realizó la técnica tinción de raíces con azul de tripano al 0.05% propuesta por Phillips y Hayman (1970), con modificación de Alvarez *et al.*, (2008). Se continuó con el montaje de las raíces en portaobjetos y con ayuda del microscopio se realizó el conteo de número de hifas, vesículas y arbusculos.

3.11. Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el programa InfoStat versión 2016e.

La primera prueba que se realizó para todos los datos fue la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

La segunda prueba depende de si $p > 0.005$ resultado de la prueba de normalidad entonces se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) o si $p < 0.005$ se realizó la Prueba de Kruskal Wallis para análisis de varianza no paramétrica.

3.12. Diagrama de la metodología

En el (Diagrama 2) se presenta la metodología empleada para la realización del experimento.



Diagrama 2. Metodología desarrollada.

3.13. Materiales

Los materiales contenidos en las tablas siguientes corresponden al montaje de los tratamientos, desarrollo de las plantas de frijol dentro del invernadero (Tabla 3 y 4), así como material para la obtención de datos (Tabla 5) y las pruebas realizadas en laboratorio (Tabla 6).

Tabla 3. Materiales utilizados en la obtención y desinfección del suelo.

CANTIDAD	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Obtención de suelo		
2	Palas	recta, curva
2	Picos	
8	Costales	25 kg
1	Cinta métrica	100 cm
1	Carretilla	
Tamizado de suelo		
2	Tamices	número 20
2	Maso	
5	Costales	25 kg
2	Bandejas de plástico	
Desinfección de suelo		
1	Rollo de bolsas	polipapel
1	Autoclave	
5	Costales	25 kg

Tabla 4. Materiales utilizados en el montaje de los tratamientos.

CANTIDAD	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
200	Semillas de Frijol	Frijol negro-criollo
1	Semillero	200 cavidades
500 g	Sustrato	Perlita y vermiculita en relación 3:1
4	Celdas alotrópicas	Dimensión: 0.13 x 0.025 cm
80	Macetas	Macetas de plástico 10 cm de diámetro x 15 de alto
96.0 kg	Suelo	1200 g por maceta Origen: FES- Zaragoza
32 kg	Arena sílica	400 g por maceta Sílica comercial
40 g	Sulfato de sodio	1 g por maceta (120 ppm) en 1200 g de suelo
200g	Hongos micorrízicos	5g por maceta en cada tratamiento

Tabla 5. Materiales utilizados durante el mantenimiento de las unidades experimentales y toma de datos.

CANTIDAD	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
2	Formato de datos	Datos fenológicos Porcentaje de colonización
1	Regla	30 cm
1	Vernier	100 cm
1	Cinta métrica	100 cm
1	Probeta	100 mL
1	Vaso de precipitado	1000 mL

Tabla 6. Materiales de laboratorio para la obtención de los resultados.

CANTIDAD	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
1	Rollo bolsas	Polipapel
1 paquete	Etiquetas	
1 paquete	Bolsas	Estraza
1	Secador	Estructura para deshidratar
1	Balanza granataria	
1	Balanza analítica	
2	Microscopio óptico	
2	Cajas de petrí	
2	Agujas de disección	
2	Bisturí de disección	
2	Cajas de portaobjetos	
2	Cajas de cubreobjetos	
2 L	Hidróxido de potasio KOH 5%	
1 L	Peróxido de hidrógeno 10%	
1 L	Ácido clorhídrico HCl 1%	
300 mL	Azul de tripano	Para 100 mL: 25 mL de ácido láctico 25 mL agua destilada 50 mL de glicerina 0.05 g de azul de tripano

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros físico-químicos del suelo de FES-ZARAGOZA

En las tablas 7 y 8 se muestran un resumen de las características físico-químicas del suelo ya adicionado con el sulfato de sodio, que se obtuvieron de un promedio de 4 repeticiones de cada parámetro.

Tabla 7. Características físicas del suelo

Características físicas del suelo		
Color	seco	pinksh gray
	húmedo	very dark Brown
Densidad	aparente	1.1 gcm ³
	real	1.66 gcm ³
Capacidad de campo	26%	

El suelo presenta color gris rosado en seco (7.5YR 7/2) y color café muy oscuro en húmedo (7.5YR 2.5/3), según las tablas (Munsell, 1907); La densidad aparente es de 1.1 gcm³ y una densidad real de 1.66 gcm³. La capacidad de campo fue también 26 %.

Tabla 8. Características químicas

Reacción del suelo		
pH	9.27	
pH temperatura	21	°C
Conductividad eléctrica	4.63	dS/m

De acuerdo con el manual de Edafología (Prácticas de Laboratorio) Valencia (2012) los resultados indican que de acuerdo con las características químicas (Tabla 8) es un suelo muy alcalino por tener un pH mayor a 9 y una conductividad eléctrica mayor a 4 dS/m con probabilidad de exceso de sodio, bajo estas condiciones se estableció el experimento.

4.2. Germinación

El proceso de germinación incorpora aquellos eventos que inician con la absorción de agua por la semilla seca y termina con la elongación del eje embrionario. Los requerimientos ambientales necesarios para la germinación son: agua, oxígeno y temperatura; en ausencia de alguno de estos factores, la mayoría de las semillas se mantendrían en un estado quiescente, aún sin reposo (Herrera *et al.*, 2006).

La germinación para el experimento que se llevó a cabo en charola de plástico de 200 cavidades se consideró terminada cuando apareció sobre la perlita el hipocótilo junto con los cotiledones. La prueba indicó que no hubo una diferencia estadística significativa ($p < 0.018$), pero de manera gráfica (Figura 6) el tratamiento con agua alotropizada mostró un valor mayor respecto al porcentaje de individuos que germinaron en la primera semana, es decir, la comparación es relevante en el tiempo de germinación.

Amaya *et al.*, (1996); Podleoeny *et al.* (2004) han demostrado que un campo electromagnético externo acelera el crecimiento de la planta, especialmente el porcentaje de germinación de la semilla y la velocidad de emergencia en distintas semillas como el frijol; de dos a tres días más rápida la emergencia en comparación que el tratamiento control.

Govoroon *et al.* (1992), demostraron que la germinación de semillas de chícharo (*Pisum sativum* L.) lenteja (*Lens culinaris* L.) y lino (*Linum usitatissimum* L.) no se ven afectadas por un campo magnético.

Los resultados obtenidos concuerdan con Govoroon *et al.* (1992), al no mostrar significancia estadística en la variable de porcentaje de germinación, sin embargo la grafica indica que hay diferencia en la velocidad de emergencia, como lo demuestran Amaya *et al.* (1996); Podleoeny *et al.* (2004) en sus estudios.

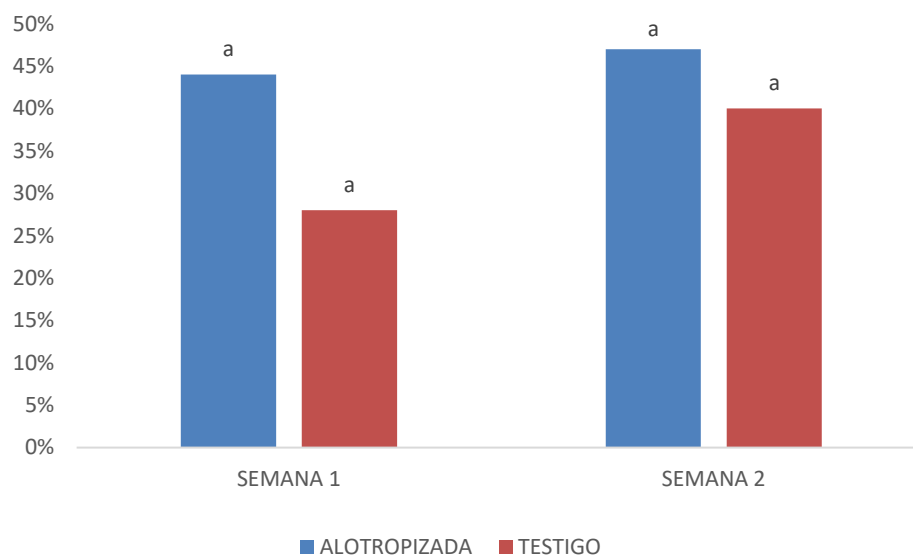


Figura 6. Prueba de germinación en *Phaseolus vulgaris* correspondientes al uso de agua alotropizada y agua testigo.

4.3. Variables medidas para el cultivo.

4.3.1. Altura de planta

Para la variable de altura de planta (Anexo 1) no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p < 0.0723$) sin embargo, el tratamiento C que corresponde a sulfato de sodio, micorrizas y agua alotropizada así como el tratamiento D que corresponde a sulfato de sodio y agua alotropizada y tratamiento E al cual solo se aplicó riegos con agua alotropizada expresan gráficamente mayor altura en comparación con el resto de los tratamientos.

La altura de la planta es resultado del crecimiento de los tallos, el aumento del número de raíces, hojas y tallos es consecuencia del crecimiento vegetativo debido a la acción de la luz, la absorción y asimilación de elementos minerales del ambiente. Por lo tanto, la diferencia del crecimiento vegetativo entre plantas es debido a las condiciones en que se desarrollan.

En la Figura 7 se muestra el promedio de las alturas registradas durante el experimento, con una duración de 77 días a partir del trasplante hasta la obtención de la vaina.

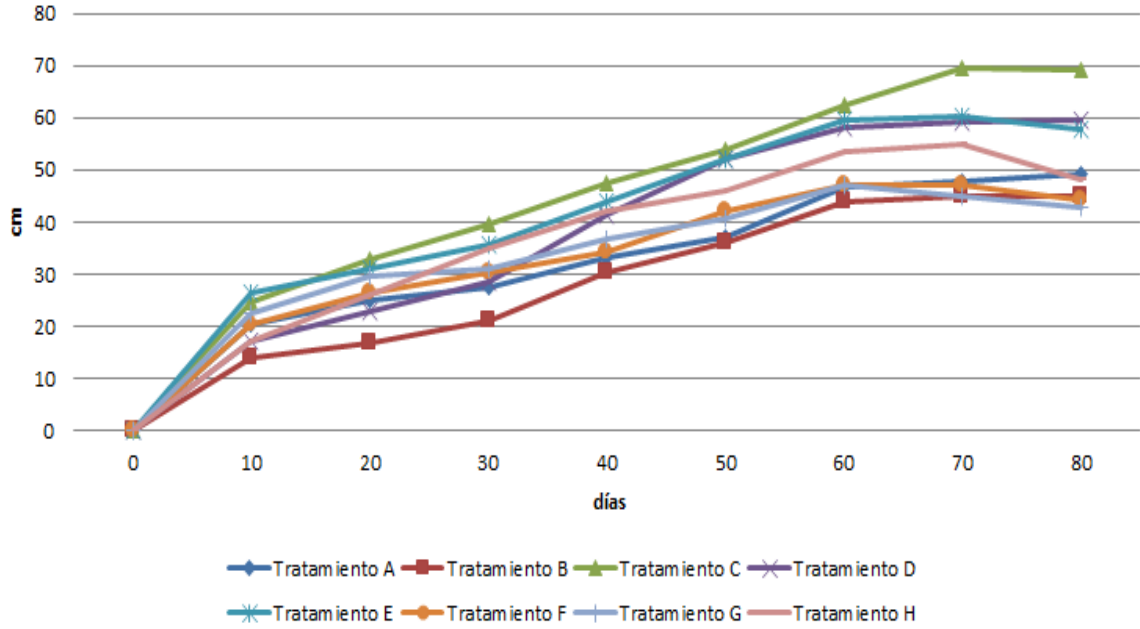


Figura 7. Altura máxima de *Phaseolus vulgaris* de cada tratamiento correspondiente. Tratamiento A (Na_2SO_4 + micorrizado+ agua testigo), Tratamiento B (Na_2SO_4 + agua testigo), Tratamiento C (Na_2SO_4 + micorrizado+ agua alotropizada), Tratamiento D (Na_2SO_4 + agua alotropizada), Tratamiento E (agua alotropizada), Tratamiento F (micorrizado + agua alotropizada), Tratamiento G (micorrizado+ agua testigo), Tratamiento H (agua testigo).

4.3.2. Diámetro de tallo

En el diámetro de tallo promedio no se encuentra diferencia estadística significativa ($p < 0.6837$) para ningún tratamiento (Anexo 2).

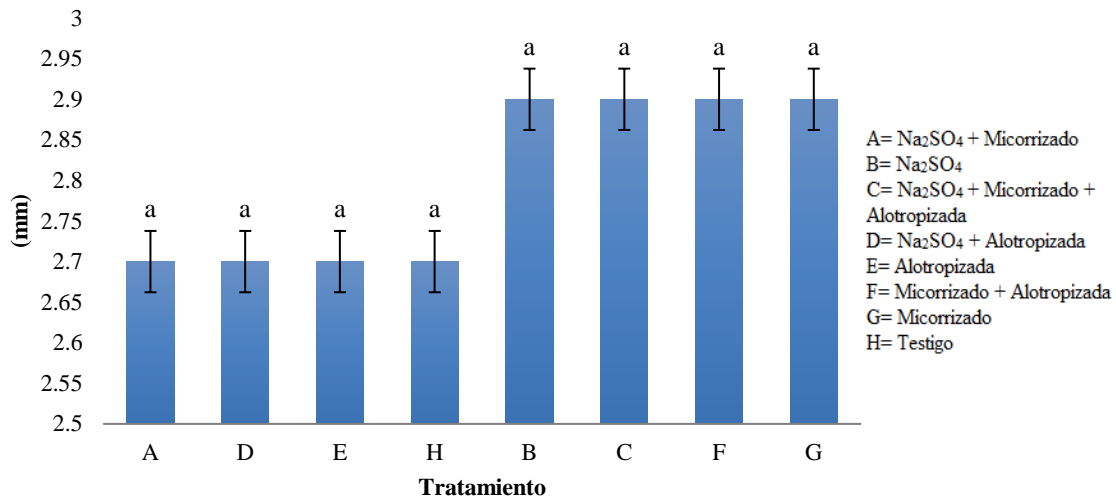


Figura 8. Diámetro de tallo de *Phaseolus vulgaris* L.

4.3.3. Número de hojas

De acuerdo con los valores obtenidos en la prueba estadística Kruskal Wallis (Anexo3) la variable número de hojas no mostró diferencia significativa en ningún tratamiento ($p < 0.7282$).

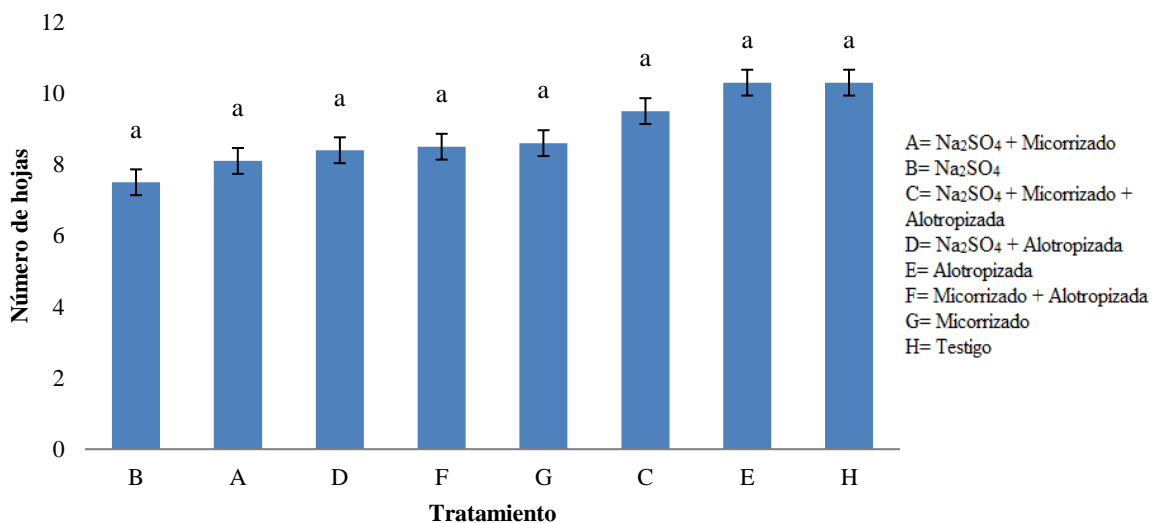


Figura 9. Número de hojas promedio de *Phaseolus vulgaris* por cada tratamiento. Letras minúsculas tienen igualdad estadística ($p > 0.05$).

Los resultados obtenidos de altura de la planta, diámetro de tallo y número de hojas no son significativos, al mostrar los datos gráficamente (Figura 8 y 9) se expone; diferencias, principalmente es notorio en los siguientes tratamientos: (C) donde se adicionó al sustrato Na_2SO_4 , micorrizas e irrigado con agua alotropizada y el tratamiento (E) que solo fue irrigado con agua alotropizada en un sustrato esterilizado y el tratamiento (D) donde se adicionó Na_2SO_4 e irrigó con agua alotropizada. Resultados similares reportó Hamel *et al.* (1997) al utilizar HMA en cultivo de poro, que al ser inoculado en invernadero con *Glomus intraradices* al momento de la cosecha no presentó beneficios en la biomasa de la planta.

Otros estudios indican lo contrario como el de Carpio *et al.* (2005); Russo y Perkins (2010) donde se menciona que dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta se tiene un aumento del crecimiento y mayor absorción de nutrimentos minerales, así mismo Gonzalez y Ferrera (1993) estudiaron el efecto de la roca fosfórica y de la inoculación con *Glomus* sp. sobre el injerto naranjo agrio Australiano, de las plantas inoculadas tuvieron un incremento de altura, diámetro de tallo, número de hojas, aumento en el peso seco y área foliar del cultivo.

En el caso de diámetro de tallo Can (2014) observó un incremento en el diámetro de tallo en plantas de frijol negro al encontrarse en un medio con una concentración mayor de NaCl ; resultados similares se obtuvieron en este estudio ya que los tratamientos en un medio salino presentan un tallo más grueso aparentemente, pero no es significativo.

Varios estudios han revelado los efectos beneficiosos del tratamiento magnético del agua en el rendimiento de la fruta y el crecimiento de la planta (Lin y Yotvat, 1990). La aplicación de un campo magnético aplicado al agua de riego mejora las características de crecimiento de las plantas, la funcionalidad de las raíces, además, tiene una marcada influencia en la composición química de las plantas y afecta la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Maheshwari y Grewal 2009).

Duarte *et al.* (2005) mencionaron que la magnetización del agua de riego en plantas ornamentales actúa sobre el crecimiento y número de hojas por lo cual constituye un método que mejora la calidad de la planta además de ayudar a disminuir la sedimentación de las sales en el sistema de riego por lo que podemos decir que actúa sobre el número de hojas.

Otros autores como Maheshwari y Grewal, (2009) mencionaron que el tratamiento magnético del agua puede estar influyendo en la absorción de Fosforo y Potasio adsorbido en el suelo sobre el complejo coloidal y, por lo tanto, aumentar su disponibilidad para las plantas, con ello mejora la productividad y crecimiento de estas.

Los distintos autores mencionan de un comportamiento positivo en variables como la altura de la planta, número de hojas, diámetro de tallo, en este estudio no hubo un comportamiento significativo debido a, como mencionó Belyavskaya (2014), ante un campo magnético débil no responden significativamente y se desconoce los factores a los cuales responden las plantas.

4.3.4. Tasa de crecimiento relativo

Se calculó la tasa de crecimiento relativo (TCR) durante el ciclo del cultivo, las pruebas estadísticas muestran diferencias significativas (Anexo 4) para esta variable entre los ocho tratamientos ($p < 0.0005$), el tratamiento D muestra mayor TCR el cual contiene Na_2SO_4 y fue irrigado con agua alotropizada (Figura 10).

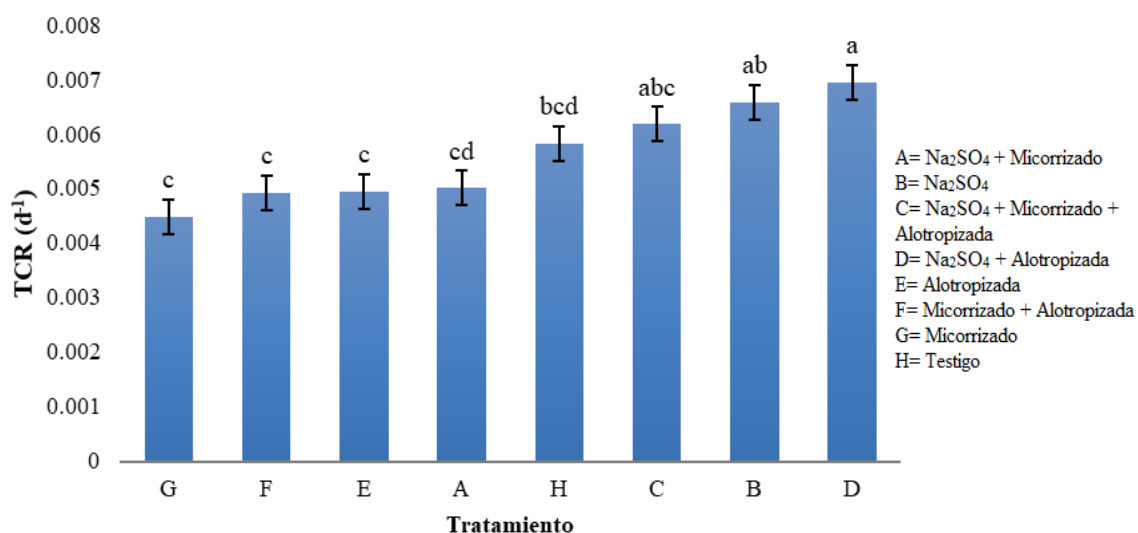


Figura 10. Tasa de crecimiento relativo de *Phaseolus vulgaris*. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

La aplicación de los hongos micorrízicos está ampliamente justificada por sus beneficios en su capacidad de fungir como biorreguladores de crecimiento y desarrollo, facilitador de la

nutrición vegetal así como agentes de biocontrol (Alarcón, 2000). Un estudio realizado por Rilling y Mummey (2006) señaló el aumento en el crecimiento y una mejor relación hídrica de la planta en presencia de HMA.

Can (2014) encontró que el frijol al desarrollarse en un medio salino conforme incrementa la concentración disminuye su crecimiento, pero estudios realizados por Colla *et al.* (2008), con la asociación de *Rizophagus irregularis* con una variedad de *Curcubita pepo* L. demostró que los efectos del estrés salino se contrarrestan con el uso de los HMA; de la misma forma lo demostró Harris *et al.* (2011) con hongos procedentes del desierto Sonorense en cultivos de *C. pepo* var. *pepo*.

Shepard *et al.* (1995), citaron varios artículos que indican el efecto del agua magnetizada sobre la velocidad de crecimiento de los cultivos (cebada, arroz, tomate) de la misma manera Duarte *et al.* (2004) donde evaluaron la aplicación de agua magnética sobre tomate variedad Rilia en condiciones de organoponia obtuvo una aceleración del crecimiento y aumento del rendimiento de un 46 %.

4.3.5. Número de yemas florales

La prueba estadística de Kruskal Wallis (Anexo 5) indican una diferencia significativa ($p > 0.0001$) donde los mejores tratamientos son aquellos en donde no hay presencia de sulfato de sodio como el tratamiento E donde solo se irrigó con agua alotropizada y el tratamiento F en donde al sustrato se añadió micorrizas e irrigó con agua alotropizada (Figura 11).

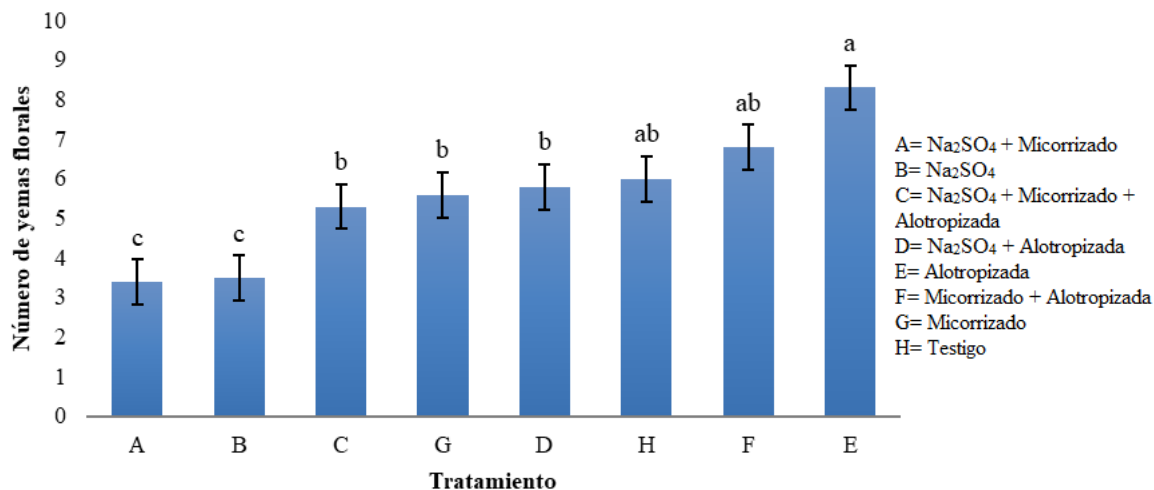


Figura 11. Número de yemas florales de *Phaseolus vulgaris*. Letras minúsculas diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.3.6. Número de flores

Los resultados obtenidos (Anexo 6), muestran diferencia significativa ($p > 0.0424$), para los tratamientos C y B ambos con sulfato de sodio siendo el tratamiento C con mayor significancia correspondiente a micorrizas e irrigado con agua alotropizada. Todos los tratamientos a excepción del F tienen mayor promedio que el testigo H que solo es regado con agua normal (Figura 12).

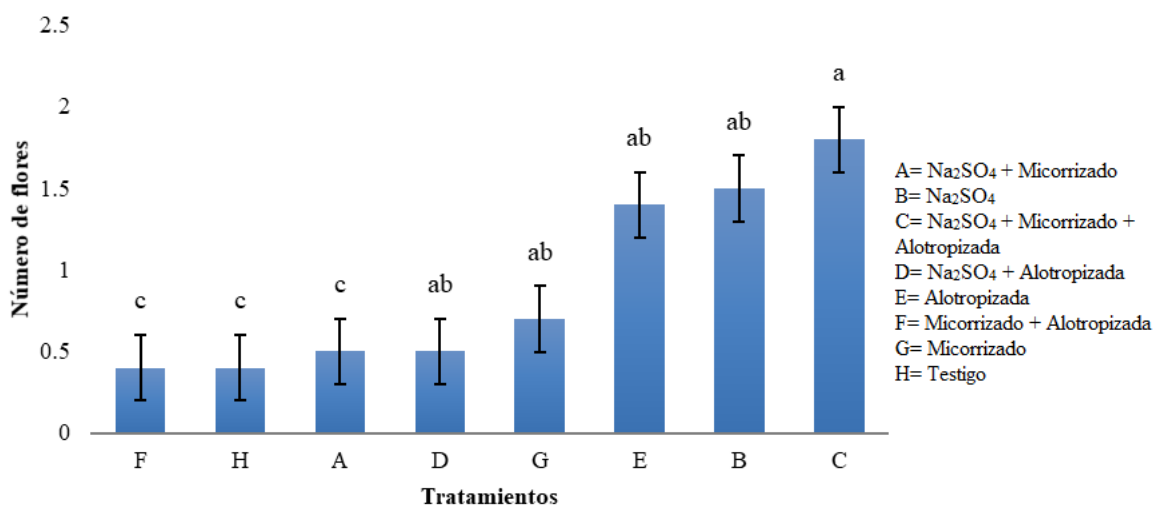


Figura 12. Número de flores de *Phaseolus vulgaris*. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

Durante el desarrollo del cultivo al momento del inicio de la anthesis los resultados indican que hubo una mayor presencia de yemas florales en las plantas que fueron irrigadas con agua alotropizada seguido de los tratamientos que se inocularon con micorrizas pero con un mayor número de yemas por planta en los tratamientos que no hay presencia de Na_2SO_4 , al momento de pasar a la etapa de la floración el efecto cambio, en los tratamientos donde hubo presencia de sales, existió la mayor cantidad de flores, principalmente en las micorrizadas y con agua alotropizada; por su parte las que se encontraron en un sustrato sin adición de sales se perdió gran número de yemas que no llegan a la floración pero cabe resaltar que el tratamiento con agua alotropizada es el que conservó mayor número de flores.

La salinidad en el suelo provoca la falta de agua en los cultivos además de no tener disponibles varios de los elementos para su nutrición; en el caso de frijol es sensible a la salinidad, ya que puede reducir su rendimiento hasta en un 50% (Bayuelo *et al.*, 2002).

Una estrategia para resistir tales condiciones de estrés es la asociación con un determinado HMA, ya que la interacción permite a la planta aclimatarse y continuar con la asimilación de nutrimentos en las etapas sucesivas del desarrollo (Ruiz *et al.*, 1995; Bhoopander y Mukerji, 2004).

Otro factor importante fue el agua alotropizada para obtener buenos resultados, estudios como el de Esitken y Turan (2004), Selim y Nady (2011), demostraron que hay un aumento en el número de flores, la precocidad y el rendimiento total de la fruta de la fresa y el tomate con la aplicación de campos magnéticos

4.3.7. Número de vainas.

Para la variable de número de vainas no hubo diferencia significativa según el ANOVA realizado ($p < 0.2517$) (Anexo 7), el Tratamiento C el cual fue inoculado con micorrizas e irrigado con agua alotropizada es el que destaca según se muestra en la Figura 13.

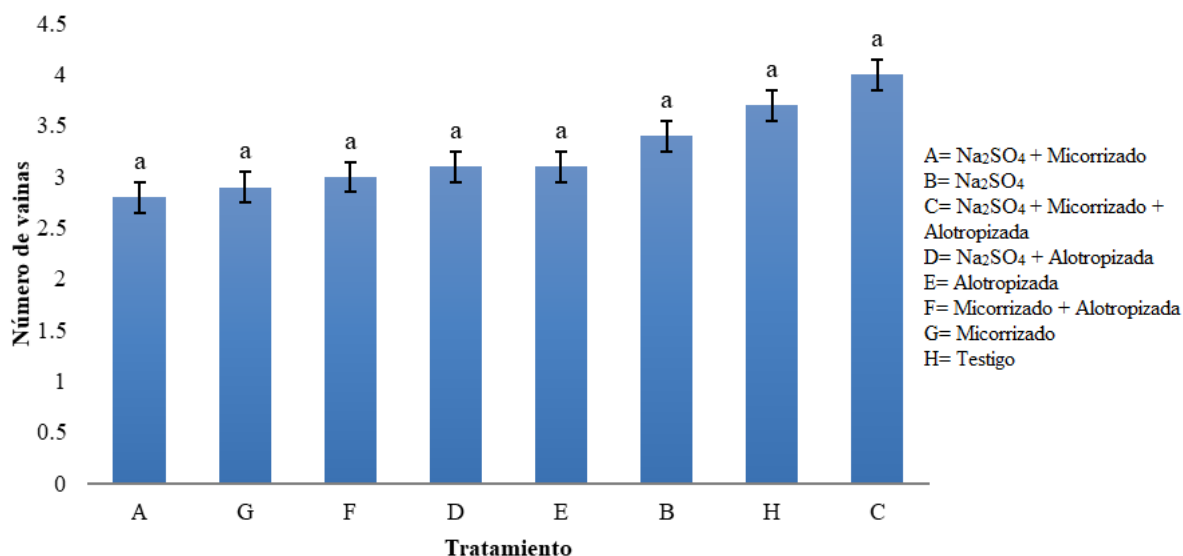


Figura 13. Número de vainas promedio de *Phaseolus vulgaris*. Letras minúsculas iguales no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$).

Gutiérrez (1993) evaluó el efecto de la inoculación con los HMA en plantas de chile serrano var. Tampiqueño 74 en condiciones de invernadero, observó que las plantas inoculadas obtuvieron mayor número de frutos y presentó mejor desarrollo de las plantas.

4.4. Variables medidas pos-cosecha

4.4.1. Longitud de vaina

En la longitud de vaina se obtiene como resultado (Anexo 8) que no hubo diferencia estadística significativa en los tratamientos ($p < 0.1510$) (Figura 14)

Aunque no se encontró diferencia significativa, otros estudios realizados como el de Díaz *et al.* (2013) en donde evaluó la calidad de fruto de pimiento inoculado con HMA, se demostró incrementos en índice de clorofila, contenido foliar, y colonización micorrízica comparadas con las que no se inocularon, además promovió una mejor calidad de fruto pues aumentaron de longitud, ancho y peso de fruto.

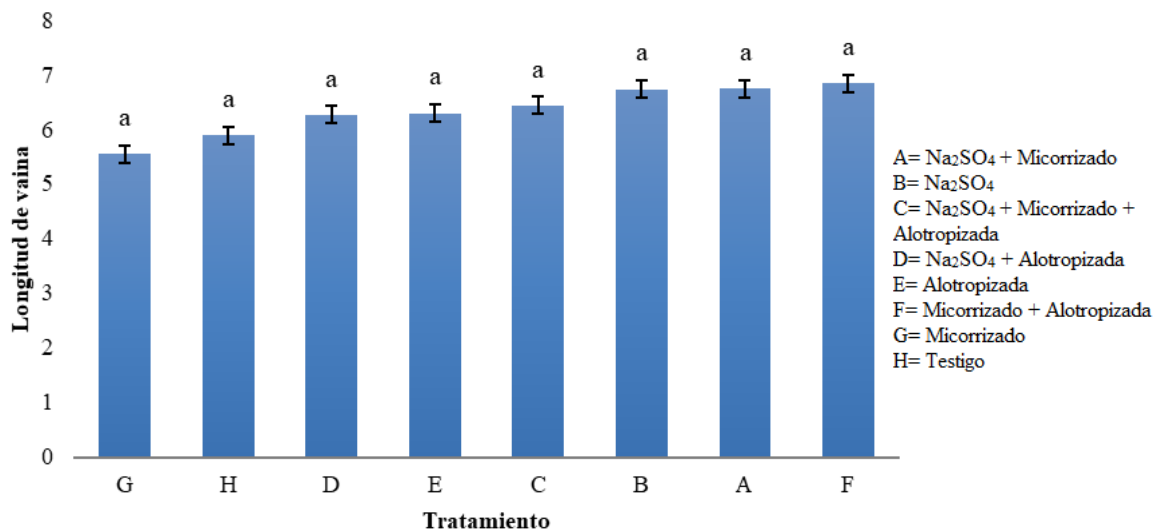


Figura 14. Longitud de vaina en *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas no muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p > 0.05$).

4.4.2. Peso húmedo de la vaina

La variable evaluada peso húmedo de la vaina da como resultado (Anexo 9) en la prueba estadística ($p < 0.0002$) como tratamiento significativo el tratamiento C al cual se añadió Na_2SO_4 , micorrizas y agua alotropizada en riego (Figura 15).

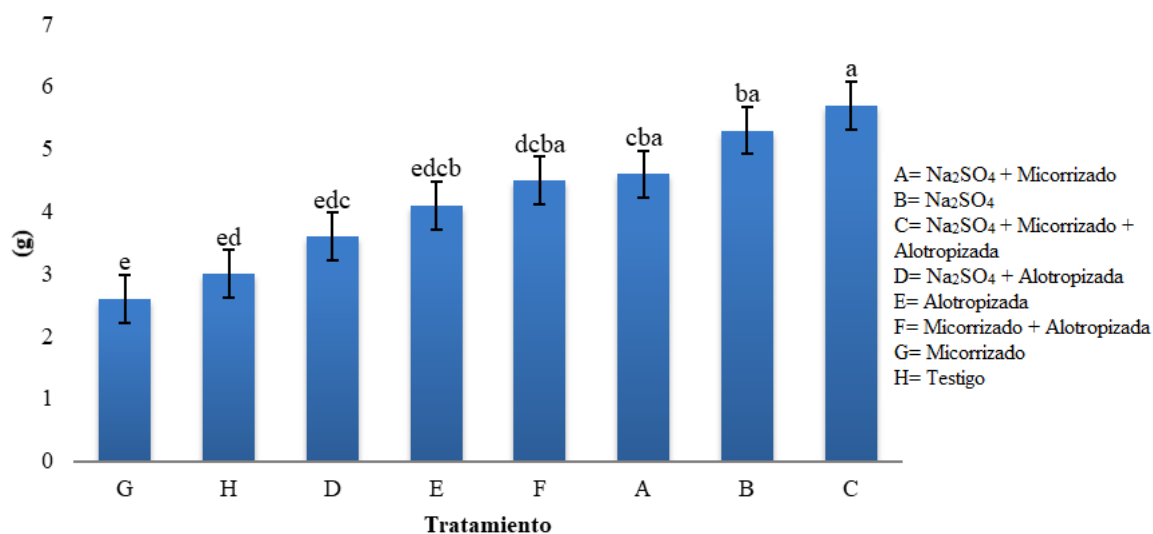


Figura 15. Peso húmedo de la vaina en *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p > 0.05$).

4.4.3. Peso seco del ejote

En la prueba paramétrica de análisis de varianza ($p < 0.0001$), resultó el tratamiento C significativo (Anexo 10), correspondiente al tratamiento micorrizado e irrigado con agua alotropizada en sustrato salino (Figura 16).

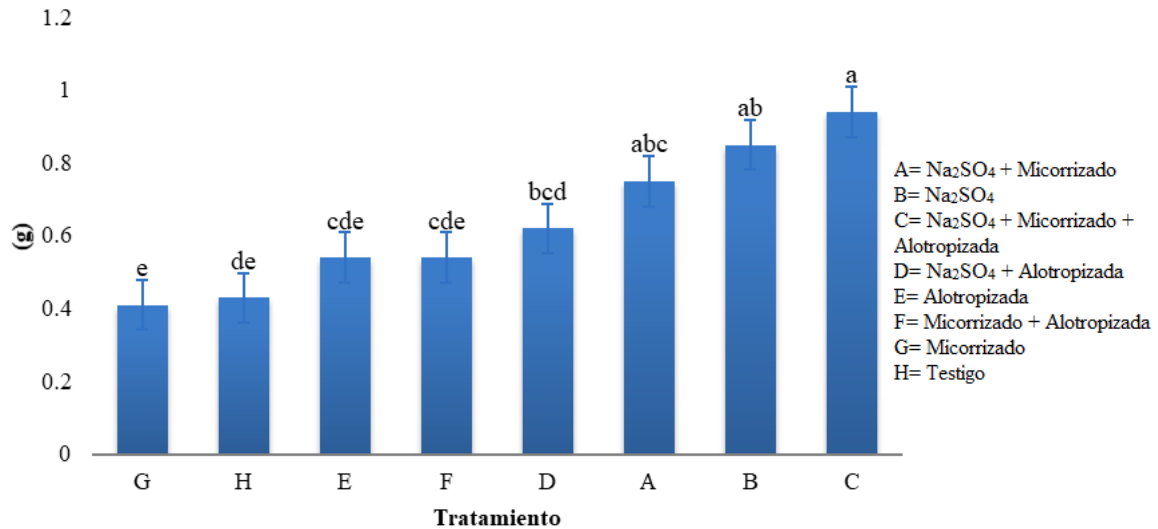


Figura 16. Peso seco del ejote en *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p > 0.05$).

El peso seco del ejote indicó que hubo una sinergia en el tratamiento con la aplicación de micorrizas y agua alotropizada en un medio salino, además los tratamientos en un medio salino son los que destacaron, en promedio perdieron menos peso comparado con los tratamientos en un sustrato no salino.

La asociación micorrízica ayuda a la obtención de nutrimento como Fósforo y Nitrógeno además de elementos menores, un estudio realizado sobre la asociación de soya y maíz con la asociación de HMA para confirmar si existe transferencia de nitrógeno y fósforo al aplicar diferentes dosis los resultados indican que cada una se tradujo en un aumento de la producción de materia seca, por lo tanto, se reflejó en el rendimiento (Reyes 1993). El incremento de mayor peso del fruto por la relación planta hongo fue similar a los resultados encontrados por Silva (2008), el cual concluyó que la inoculación con HMA en el cultivo de jitomate con una solución nutritiva, aumenta la altura, así como el diámetro de fruto y peso fresco de fruto. Por su parte Mosquera (1985), Kucey y Janzen (1987), mencionaron un incremento de la materia

seca en la producción de plantas de frijol bajo influencia de HMA y composta. Si bien el Na^+ tiene un efecto antagónico en el suelo y en presencia con el Mg^{+2} aumenta este efecto la síntesis de clorofila entre otra serie de reacciones, la presencia de HMA disminuye o elimina el efecto antagónico del Na^+ (Bhoopander y Mukerji, 2004).

El efecto alotrópico en el agua de riego posiblemente contribuye al aumento de la disponibilidad de los nutrientes disueltos. Hozyn *et al.* (2011) sugirieron que el tratamiento magnético sobre agua de riego promueve la absorción de N, P y K e incrementa el número de raíces, el grosor de tallo, peso húmedo y número de macollos en maíz.

Hachicha *et al.* (2018), en su estudio realizado en el cultivo de maíz y papa en un ambiente de estrés salino obtuvo un aumento significativo de la tasa de germinación de las semillas, la absorción de los nutrientes (N,P,K) en papa, contra el efecto de estrés salino, lo cual se reflejó directamente en el rendimiento de los cultivos.

Maheshwari *et al.* (2009) evaluó el uso de agua magnética, sin magnetizar, agua reciclada y agua salada en arveja, apio y guisantes, e indicó un aumento en el número de vainas de arveja por maceta, lo cual contribuyó en un aumento significativo en el peso fresco y peso seco de las vainas en las plantas.

La micorrización junto con el agua alotropizada promovieron una mayor disponibilidad y absorción de micro y macro nutrientes que se encuentran en el sustrato, reflejándose en el peso del ejote por lo que se obtuvo un efecto sinérgico entre las micorrizas y el agua alotropizada sin afectar el funcionamiento uno del otro.

4.4.4. Peso húmedo raíz

La prueba de Kruskal Wallis ($p < 0.0001$) mostró significancia en los tratamientos C (Anexo 10), en donde se encuentran las micorrizas en un sustrato con sulfato de sodio e irrigado con agua alotropizada, el tratamiento A el cual esta micorrizado en un sustrato con Na_2SO_4 y el tratamiento B el cual solo es el sustrato con Na_2SO_4 (Figura 17)

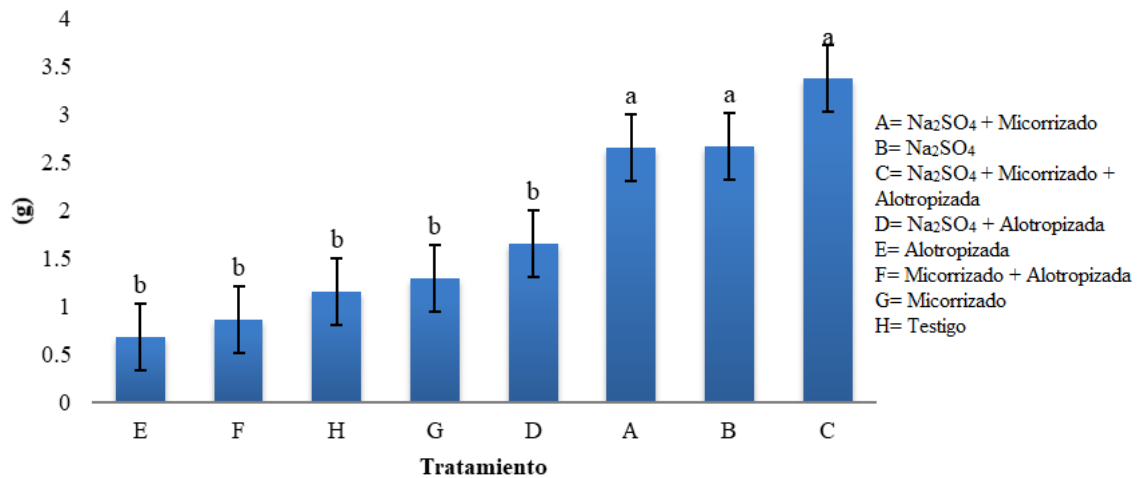


Figura 17. Peso húmedo de raíz en *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p>0.05$).

4.4.5. Peso seco de raíz

Los resultados de la prueba estadística (Anexo 11) indican que existe diferencia significativa ($p=0.016$), el mejor tratamiento B correspondiente a la adición de sulfato de sodio seguido del tratamiento C que corresponde a la adición de sulfato de sodio, micorrizas, e irrigadas con agua alotropizada (Figura 18)

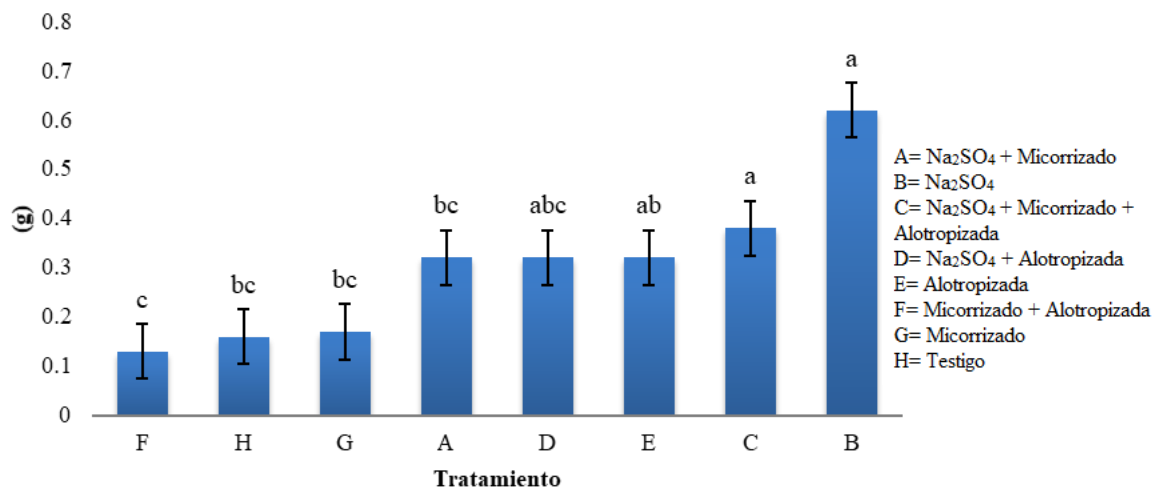


Figura 18. Peso seco raíz de *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p>0.05$).

Estudios indican que variedades de frijol son sensibles a la salinidad por ejemplo Can *et al.*, (2014) encontraron que la longitud y la biomasa radical disminuye gradualmente conforme aumenta la salinidad y se presenta una elongación con el fin de encontrar horizontes menos salinos.

Los resultados indican que los tratamientos micorrizados e irrigados con agua alotropizada que se desarrollaron en un medio salino presentan mayor peso de la raíz por lo tanto se desarrolló mayor estructura de raíz es decir una arquitectura radical de mayores proporciones.

La presencia de los HMA coincide con los resultados por Contreras *et al.*, (2013), los cuales analizaron la influencia de los HMA en el cultivo de *Capsicum annum*, donde concluye que hay un efecto positivo de los hongos micorrízicos en la raíz de la planta, las variables como el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz indican una diferencia significativa. Harris *et al.*, (2009) por su parte menciona que la plantas micorrizadas presentan mayor desarrollo de raíz y del crecimiento vegetal, así como en la disminución en sus requerimientos hídricos, ya que la asociación planta-HMA genera cierta cantidad de micelio en la raíz por lo que permite a la planta tener mayor acceso al agua del suelo y aumentar su hidratación propiciando así un ajuste osmótico celular (Augé, 2001; Augé *et al.*, 2003; Ruiz *et al.* 1995).

El tratamiento magnético del agua puede influir en el crecimiento de la raíz de varias especies de plantas (Turker *et al.*, 2007). Estudios realizados en México sobre tratamientos magnéticos como los que realizaron, (López *et al.*, 1995) estudiaron el crecimiento del rábano en un invernadero, se consideraron dos factores: fertilización y tratamiento magnético del agua bajo un diseño completamente al azar, pesaron las plantas enteras, sus hojas y sus raíces. Encontraron una sola diferencia significativa, el peso de las raíces de los rábanos regados con agua magnetizada sin fertilizar fue mayor al de los rábanos regados con agua de control con fertilizante (aumento de 22%).

Belyavskaya (2001) y Turker *et al.* (2007) demostraron una mejora en el crecimiento de la raíz del maíz (*Zea mays*) al exponer las plántulas de maíz a campos magnéticos de 5 miliTesla a frecuencias alternas de 40-160 Hz y en girasol hubo un aumento del peso seco ante el efecto magnético.

La interacción de los HMA con el agua alotropizada generaron una mayor proporción de raíz por lo tanto hay una mejor hidratación en la planta al afectar las sales disueltas que se encontraban en el sustrato salino y mejor acceso a nutrientes ya que la planta tiene mayor área radical para encontrar nutrientes disponibles

4.5. Porcentaje de colonización

La variable porcentaje de colonización es un indicador de la interacción micorriza - planta, así como, el estado de esta relación la cual se observó como porcentaje de hifas, arbusculos y vesículas. Un porcentaje alto muestra una mayor relación simbiótica.

Los tratamientos A, C, F y G corresponden a los inoculados con micorrizas, siendo el tratamiento C el que presenta mayor significancia (Anexo 12), con un porcentaje del 67.3 % (Figura 19).

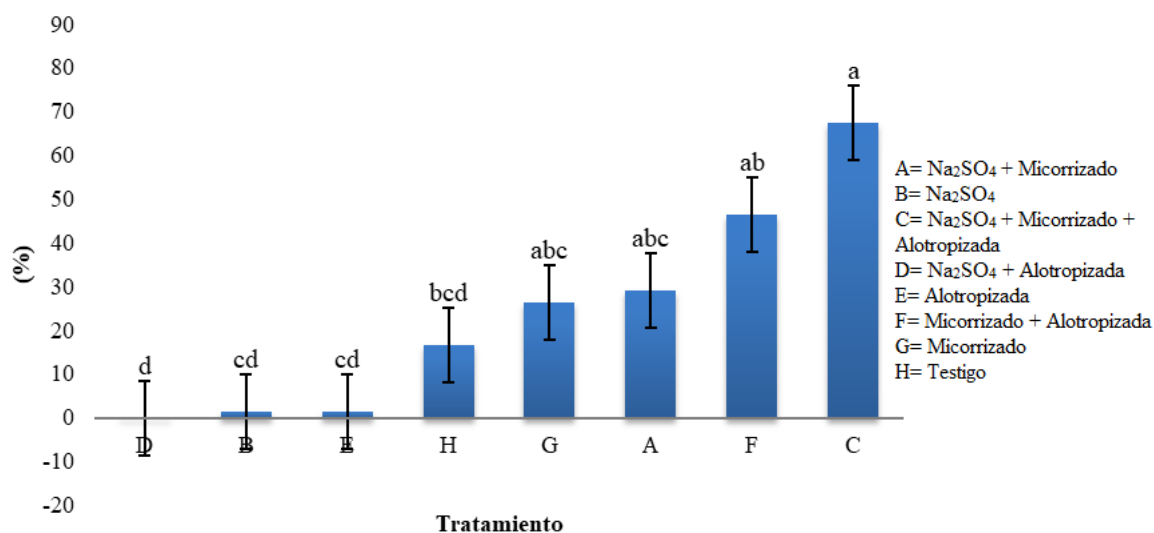


Figura 19. Porcentaje de colonización en *Phaseolus vulgaris*. Las letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas en los tratamientos ($p > 0.05$).

La colonización micorrízica arbuscular en los tratamientos que se encontraron en un medio salino o no, tuvieron el mismo porcentaje de colonización, potencializado su efecto con el uso del agua alotropizada, que confirma la sinergia que se da entre la micorriza y el agua alotropizada.

Para que se forme un sistema micorrízico en un medio debe existir condiciones para llevar a cabo la simbiosis; según (Alemán, 2006) 1) la presencia de una planta susceptible, 2) la de un propágulo, en este caso se adicionó el propágulo *Glomus sp.* en la planta de frijol que es una especie con altas probabilidades de micorrizarse, 3) la velocidad de crecimiento de la hifa, 4) su capacidad de formar arbusculos y su duración, y 5) los exudados de la raíz. Vierheiling *et al.*, (1998) mencionaron que los exudados solubles en agua de frijol ejercen un claro efecto de atracción sobre las hifas en desarrollo. El efecto estresante como la falta de agua y la salinidad disminuye la eficiencia y altera la fisiología y el funcionamiento del sistema simbiótico (Abbot y Robson, 1991).

Cuando una espora de un hongo micorrízico germina, ramifica en todas las direcciones para incrementar la oportunidad de encontrar raíces, una vez encontrada, ocurren varias modificaciones en la morfología de la raíz: las hifas detienen su crecimiento una vez que desarrolle ramas laterales y que hayan encontrado el ambiente necesario para llevar a cabo la simbiosis con la planta y así realizar el intercambio de nutrientes y agua a través de las hifas a la planta, también esta asociación ayuda a prevenir la entrada de patógenos (Camarena, 2012).

El agua alotropizada al actuar en las sales disueltas en el agua propició mejores condiciones de desarrollo de los HMA, y hubo una rápida y mejor penetración de las hifas a la raíz, lo cual evitó el estrés de la salinidad y un mayor porcentaje de colonización con este tratamiento.

4.6. Síntesis de resultados

Tabla 9. Variables de respuesta con significancia.

Parámetro	Na ₂ (SO) ₄ + Micorrizado	Na ₂ (SO) ₄	Na ₂ (SO) ₄ + Micorrizado +Alotropizada	Na ₂ (SO) ₄ + +Alotropizada	Alotropizada	Micorrizado +Alotropizada	Micorrizado	Testigo	Observaciones
TCR (d ⁻¹)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	P<0.0005
Número de yemas florales	3.40	3.50	5.30	5.80	8.30	6.80	5.40	6.00	P<0.0001
Número de flores	0.50	1.50	1.80	0.50	1.4	0.40	0.70	0.40	P<0.0424
Peso húmedo de la vaina	4.60	5.30	5.70	3.60	4.10	4.50	2.69	3.00	P<0.0002
Peso seco de la vaina	0.75	0.85	0.94	0.62	0.54	0.54	0.41	0.43	P<0.0001
Peso húmedo raíz	2.65	2.67	3.37	1.66	0.69	0.69	1.29	1.16	P<0.0001
Peso seco raíz	0.32	0.62	0.38	0.32	0.32	0.32	0.17	0.16	P<0.0169
Porcentaje de colonización	29.00	1.34	67.34	0.00	1.34	146.55	26.38	16.68	P<0.0005

Nota: El tratamiento marcado es significativo estadísticamente

V. CONCLUSIONES

1. Para las variables de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de vainas y longitud de vaina, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos.
2. En el caso de las variables número de flores, peso húmedo y seco de la vaina, peso húmedo de raíz y porcentaje de colonización mostraron significancia cuando el tratamiento se desarrolló en un medio salino con sulfato de sodio añadido en el sustrato y se inoculó con las micorrizas e irrigadas con agua alotropizada por lo que puede decirse que existió un efecto sinérgico entre ambos tratamientos.
3. En la variable tasa de crecimiento relativo (TCR) la prueba estadística muestra significancia para el tratamiento que contiene Na_2SO_4 y fue irrigado con agua alotropizada, y en el caso de número de yemas el tratamiento irrigado con agua alotropizada presentó los mejores resultados; el agua alotropizada tuvo un efecto positivo por si solo en el crecimiento y desarrollo de las plantas.
4. Con base a los resultados obtenidos se concluye que existió un efecto positivo en el desarrollo fisiológico en algunas variables en frijol *Phaseolus vulgaris* L, debido al efecto sinérgico entre la inoculación de hongos micorrízicos y la irrigación con agua alotropizada.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más pruebas que involucren la relación agua alotropizada-hongos micorrizógenos.
2. Llevar la prueba a campo para su evaluación, donde intervienen variables ambientales no controladas y existen interacciones con el medio ambiente.
3. Evaluar pruebas con agua alotropizada donde los tratamientos correspondan a diferentes fuentes de nutrición, tanto orgánico como químico.

VII. LITERATURA CITADA

1. Abbot, K.L., Robson, A.D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35: 121-150.
2. Aceves, E. 2011. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Edit. Mundi-Prensa. México. 46-118 p.
3. Aguirre, G.A 1993. Química de los suelos salinos y sódicos. F.E.S. Cuautitlán UNAM. México. 130 pp.
4. Aguirre, R.R., Peña, V.C., Bayuelo, J.J. 2003. Morphology, phenology and agronomic traits of two wild Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) population under cultivation. *South African Journal Botany* 69(3): 410-421.
5. Alemán, M.V. 2006. Efecto de niveles de composta y hongo micorrizico arbuscular en el desarrollo y crecimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* L. Facultad de Ciencias Biologicas y Agropecuarias. Tesis Maestria en Ciencias. Tecomán, Colima. 110 pp.
6. Alarcón, A., Ferrera, C.R. 2000. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra*. 17(3): 179-191.
7. Álvarez, S.F. 2009. Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas. Facultad de Ciencias. Editorial UNAM. México. 361 p.
8. Álvarez, S.F.J., Monroy, A. 2008. Técnicas de estudios de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. Facultad de Ciencias. Editorial UNAM. México. 232 p.
9. Allison, L.E., Bernstein, L., Bower, C.A., Brown, J.W., Fireman, L., Hatcher, J.T., Hayward, H.E., Pearson, G.A., Reeve, R.C., Richards, L.A., Wilcox, L.V. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa. México. 172 p.
10. Amaya, C.L., Davies, F.T., 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. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. American Society for Horticultural Science 130(1): 131-139.
11. Amaya, J.M., Carbonell M.V., Martínez, E., Raya, A. 1996. Efectos de los campos magnéticos estacionarios sobre la germinación y el crecimiento de las semillas. *Abstracto de la Horticultura* 68(3): 136.

12. Arias, R.J.H., Jaramillo, M., Rengito, T. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. FAO-Carpoica-Mana. Antioquia, Colombia 168 p.
13. Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11(3): 38-42.
14. Augé, R.M., Moore, J.L., Cho, k., Sylvia, D.M., Al-Agely, A.K., Saxton, A.M. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. *Journal of Plant Physiology* 160(10): 1147-1156.
15. Azcón, R., Atrach, F. 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and fertilization on growth, nodulation and N₂ fixation ¹⁵N in *Medicago sativa* at four salinity levels. *Biology and Fertility of Soils* 24: 81-86.
16. Barrera, B.E.S. 2009. El uso de los hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de Ciencia agropecuarias, Colombia* 7(1): 123-132.
17. Bhoopander, G., Mukerji, K.G. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza* 14: 307-312.
18. Belyavskaya, N.A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research* 34: 1566-1574.
19. Camarena, G.G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(3): 409-421.
20. Can, C.A., Ramírez, G.L.G., Ortega, E.H.M., Cruz, C.E., Flores, R.D., Sánchez, B.E.I., Madueño, M.A. 2014. Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 753-763.
21. Cuenca, G.A.C. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32(1): 23-29.
22. Colla, G., Roupael, M.Y., Cardarelli, M.M., Tullido, A.M., Rivera, A.M., Rea, A. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils* 44: 501- 509.
23. Contreras, A.R., Aguilera, G.L.I., Rubí, A.M., González, H.A., Olalde, P.V. 2013. Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (4): 77-88.

24. Durán, R.F. 2007. Seguridad Alimentaria, Cultivando Hortalizas. Edit. Grupo Latino Editores S.A.S. Colombia. 299-312.
25. Díaz, O.E.J., Carbonell, P.M.V., Martínez, R.E. 2016. Cambios de la conductividad eléctrica asociados al tratamiento magnético del agua. *Ciencia y Tecnología*. 3(2): 65-71.
26. Díaz, F.A., Alvarado, C.M., Ortiz, C.C., 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.
27. Duarte, C., Rodríguez, R., Rey, R., González, L., Guevara, G. 2005. Algunas consideraciones sobre el uso del agua tratada magnéticamente en especies ornamentales del Jardín Botánico Nacional. *Revista Ciencias Técnicas agropecuarias* 14(1): 37-41.
28. Duarte, D., Carmen, E., Guevara, G., Méndez, M. 2004. Uso del agua activada y con tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 13(3): 13-14.
29. Escalante, E.J., Kohashi-Shibata, J. 2015. El Rendimiento y Crecimiento del Frijol, Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 84 p.
30. Esitken, A., Turan, M. 2004. Alternando los efectos del campo magnético sobre el rendimiento y la composición del elemento nutriente de la planta de la fresa. *Agric Scand* 54(3): 135-139
31. González, M.L. 2007. El gran regalo del agua para tu salud. Edit. Fundación Cultural Secografic. México, D.F. 146 p.
32. Gonzáles, C.M., Ferrera, C.C. 1995. La endomicorriza vesícula arbuscular. Asociación simbiótica entre hongos para la producción de frutales. *Agroproductividad* (3): 11-17.
33. Gutiérrez, R.E. 1993. La micorriza vesícula arbuscular *fasciculatum* como una alternativa a la fertilización en el cultivo de chile serrano. *Capsicum annum* en diferentes suelos de México. D.F. Tesis de licenciatura UNAM, Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Cuautitlan Izcalli. 111 pp.
34. Govoroon, R.D., Danilov, V.I., Fomicheva, V.M., Belyavskaya, N., & Zinchenko, S.Y., 1992. Effects of fluctuations of a geomagnetic field and its screening on early phases in development of higher plants. *Biofizika* 37: 738-743.
35. Hachicha, M., Kahlaoui, B., Khamassi, N., Misle, E., Jouzdan, O. 2018. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17(2): 154-162.

36. Hamel, C., Smith, D.L. 1991. Interspecific n-transfer and plant development in a Mycorrhizal field grown mixture. *Soil Biol. Biochem* 23: 661-665.
37. Harris, V.C., Esqueda, M., Valenzuela, S.E.M., Castellanos, A.E. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista. Fitotecnia* 32(2): 265-271.
38. Harris, V.C., Esqueda, M., Valenzuela, S., E.M., Castellanos, A.E. 2011. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Agrociencia* 45(1): 959-970.
39. Harrison, J.M. 1997. The arbuscular mycorrhizal symbiosis: an underground association. *Trends in Plant Science* 2(2): 54-60 pp.
40. Hernández, C.L., Castillo, A.S., Guadarrama, C.P., Martínez, O., Romero, R.M.A., Sánchez, G.I. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias. Editorial UNAM. México D.F. 77 p.
41. Herrera, J., Alízaga, R., Guevara, E., Jiménez, V. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. Editorial Universidad de Costa Rica. 110 p.
42. Hozayn, M., Abd, A., Abdul, Q., Abd, E.M. 2011. Response of some food crops to irrigation with magnetized water under green house condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(12): 29-36.
43. IICA, COSUDE. 2008. Guía de identificación y manejo integrado de las Enfermedades del frijol en América Central. Red de innovación agrícola. Managua. Nicaragua. 32p.
44. Jeffries, P., Barea, J.M. 2001. Arbuscular Mycorrhizal- a key component of sustainable plant-soil ecosystem. En Hock B (Ed.) *The Mycota IX Fungal Associations*. Springer. Berlín, Alemania. 95-113p.
45. Kucey, R.M.N., Janzen, H.H. 1987. Effects of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micronutrient uptake of wheat and field beans under greenhouse conditions. *Plant and Soil* 104(1): 71-78.
46. López, S.E. 2005. Efectos físicos y químicos de celdas alotrópicas en soluciones líquidas. Tesis Doctorado, CICATA-IPN. México, D.F. 127 p.
47. Lin, I.J., Yotvat, J. 1990. Exposure of irrigation and drinking water to a magnetic field with controlled power and direction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 83(1-3): 525-526.

48. López, J.M., Quintero, R., Pérez, J., Almaraz, J.J., 1995. Agua magnetizada con Hidro-Jet y rendimiento del rábano “Bolita”. Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Victoria. México. 97-94 pp.
49. Mata, F.I., Rodríguez, G.M., López, B.J., Vela, C.G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. Revista Digital del Departamento, El Hombre y su ambiente 1(5): 34-43.
49. Maheshwari, L.B., Grewal S.H. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agricultura Water Management 96(8): 1229-1236.
50. Medina, L.R., Rodríguez, Y., Torres, Y., Herrera, R. 2010. Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de la zona de las caobas. Cultivos tropicales. 31(3): 57-68.
51. Montaña, A.N.M., Camargo, R.S.L., García, S.R., Monroy, A.A. 2008. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi Prensa México S.A. de C.V. México. D.F. 266 p.
52. Palomino, T.A. 2010. Cultivo ecológico de hortalizas. Hogares juveniles campesinos. Bogotá, Colombia. 42-43p.
53. Phillips, J., Hayman, D.S. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br Mycologi 55(1): 185-161.
54. Podleoeny, J., Pietruszewski, S., Podleoeny, A. 2004. Eficiencia del tratamiento magnético de semillas de frijol cultivadas bajo condiciones experimentales en parcelas. Agrophys 65-71p.
55. Quintana, B.W.A., Pinzón, S.E.H., Torres, D.F. 2016. Evaluación del crecimiento de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) C.V. Ica Cerinza, bajo estrés salino. Rev. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Actividad & Divulgación Científica. 19(1): 87-95.
56. Reyes, S.M. G. 1993. La micorriza versículo arbuscular en la asociación de soya- maíz con énfasis en la transferencia de fósforo y nitrógeno. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de posgraduados, Montecillos, Mex. 67p.
57. Rilling, C.M., Mummey, L.D. 2006. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologis 171: 41-53.
58. Ríos, G.R. 2004. Respuesta de *Capsicum annuum* L. Chile serrano “Tampiqueño 74” a condiciones de salinidad cualitativa y cuantitativa. Tesis Maestría en Ciencias, Colegio de Posgraduados, Texcoco. 14-20.

59. Ruiz, C. E., Aldaco N., R.A., Montemayor T., J.A., Fortis H. M., Olague R. J., Villagómez G., J.C. (2007). Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica Pecuaria en México* 45: 19-24.
60. Ruiz, L. J.M, Azcón R. Gómez M 1995. Effects of arbuscular mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Appl. Environ. Microbiol* 61: 456-460
61. Russo, M.V., Perkins, V.P. 2010. Yield and nutrient content of bell pepper pods from plants developed from seedlings inoculated, or not, with microorganisms. *HortSci* 45(3): 352-358
62. Selim, A.F. Nady, M.F. 2011. Respuestas fisiológicas de plantas de tomate estresadas por la sequía al campo magnético. *Acta Astron* 69(2): 87-88.
63. Shepard, D.P, Edling, B y Reimers, R, 1995. Magnetic Water Treatment. *Golf Course Management* (63): 55-58.
64. Silva, M.L.M. 2008. Efecto de la inoculación con Hongos Micorrízicos Versículo Arbusculares (HMA) en Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis Ingeniero Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Edo Mex. 91p.
65. Tamari, S., Arroyo, C. V., García, N. 2001. El tratamiento electromagnético del agua ¿una tecnología comprobada? *Ingeniería hidráulica en México* (16)3: 47-55.
66. Trappe, J.M. 1987. Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En Safir DG (Ed.) *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. 5-25.
67. Turker, M., Temirci, C., Battal, P., Eriez, M.E. 2007. El efecto de un campo magnético artificial y estático sobre el crecimiento de las plantas, los niveles de clorofila y fitohormonas en plantas de maíz y girasol. *Phyton Ann.Rei.* 46(1): 271-284.
68. Valencia, I., C.E. 2012. Manual de Prácticas del Laboratorio de Edafología. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Agrícolas. 99 p.
69. Vierheiling, H., Alt-Hug, M., Engel- Streitwolf, R., Mader, P., Wiemken, A. 1998. Studies on the attractational effect of root exudates on hyphal growth of an arbuscular mycorrhiza indigenous to Canadian Preire Soil. *Can J. Bot.* 284-291.
70. Villar, R., Ruiz, R.J., Quero, J.L., Poorter, H., Valladares, F., Marañón, T. 2004. Tasa de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. 191-227 pp.

71. Yadollahpour, A., Rashidi, S., Fatatemeh, K. 2014. Applications of magnetic water technology in farming and agriculture development: A Review of Recent Advances. *Current World Environment* 9(3): 695-703.
72. Zúñiga, O., Osorio, J., Cuero, R., Peña, J. 2011. Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64(1): 5769-5779.
73. Zúñiga, O., Benavides, J.A., Jiménez, C.O., Gutiérrez, M.A., Torres, C. 2016. Efecto del agua tratada magnéticamente en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10(1): 176-185.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba de medias, altura máxima de planta

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Altura Max	49.20	28.33	0.71	0.0007
B	Altura Max	44.80	3.65	0.93	0.5870
C	Altura Max	69.30	36.76	0.82	0.0399
D	Altura Max	59.40	27.33	0.72	0.0010
E	Altura Max	57.60	29.02	0.85	0.1055
F	Altura Max	44.30	14.95	0.85	0.0947
G	Altura Max	42.80	14.76	0.84	0.0611
H	Altura Max	48.20	28.63	0.69	0.0004

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura Max	A	49.20	28.33	38.50	12.97	0.0723
Altura Max	B	44.80	3.65	44.50		
Altura Max	C	69.30	36.76	55.50		
Altura Max	D	59.40	27.33	52.50		
Altura Max	E	57.60	29.02	46.00		
Altura Max	F	44.30	14.95	40.50		
Altura Max	G	42.80	14.76	41.00		
Altura Max	H	48.20	28.63	36.00		

Anexo 2. Prueba de medias del diámetro de tallo.

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Diámetro	2.70	0.48	0.57	<0.0001
B	Diámetro	2.90	0.32	0.40	<0.0001
C	Diámetro	2.90	0.32	0.40	<0.0001
D	Diámetro	2.90	0.32	0.40	<0.0001
E	Diámetro	2.70	0.48	0.57	<0.0001
F	Diámetro	2.70	0.48	0.57	<0.0001
G	Diámetro	2.90	0.32	0.40	<0.0001
H	Diámetro	2.70	0.48	0.57	<0.0001

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro	80	0.06	0.00	14.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.80	7	0.11	0.69	0.6837
Tratamiento	0.80	7	0.11	0.69	0.6837
Error	12.00	72	0.17		
Total	12.80	79			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.56996

Error: 0.1667 gl: 72

Tratamiento	Medias	E.E.	
F	2.70	0.13	A
E	2.70	0.13	A
H	2.70	0.13	A
A	2.70	0.13	A
G	2.90	0.13	A
B	2.90	0.13	A
C	2.90	0.13	A
D	2.90	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3. Prueba de medias del número de hojas.

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	# Hojas	8.10	3.63	0.82	0.0335
B	# Hojas	7.50	0.97	0.86	0.1148
C	# Hojas	9.50	3.72	0.77	0.0060
D	# Hojas	8.40	4.14	0.56	<0.0001
E	# Hojas	10.30	4.74	0.81	0.0280
F	# Hojas	8.50	4.17	0.74	0.0020
G	# Hojas	8.60	3.63	0.74	0.0020
H	# Hojas	10.30	6.53	0.78	0.0080

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
# Hojas	A	8.10	3.63	7.00	4.2	0.7282
# Hojas	B	7.50	0.97	7.00		
# Hojas	C	9.50	3.72	7.50		
# Hojas	D	8.40	4.14	7.00		
# Hojas	E	10.30	4.74	8.50		
# Hojas	F	8.50	4.17	7.00		
# Hojas	G	8.60	3.63	7.00		
# Hojas	H	10.30	6.53	8.00		

Anexo 4. Resultados programa Infostat, tasa de crecimiento relativo de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	TCR	0.01	5.3E-04	0.95	0.7986
B	TCR	0.01	1.0E-03	0.93	0.5662
C	TCR	0.01	1.6E-03	0.84	0.0567
D	TCR	0.01	4.7E-04	0.92	0.5152
E	TCR	5.0E-03	2.0E-03	0.82	0.0370
F	TCR	4.9E-03	1.6E-03	0.84	0.0759
G	TCR	4.5E-03	2.2E-03	0.88	0.2231
H	TCR	0.01	8.7E-04	0.91	0.4129

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
TCR	A	0.01	5.3E-04	0.01	26.13	0.0005
TCR	B	0.01	1.0E-03	0.01		
TCR	C	0.01	1.6E-03	0.01		
TCR	D	0.01	4.7E-04	0.01		
TCR	E	5.0E-03	2.0E-03	0.01		
TCR	F	4.9E-03	1.6E-03	0.01		
TCR	G	4.5E-03	2.2E-03	0.01		
TCR	H	0.01	8.7E-04	0.01		

Trat.	Ranks				
A	25.10	A			
G	27.40	A			
F	28.80	A			
E	33.85	A	B		
H	39.90	A	B	C	
C	51.00		B	C	D
B	55.25			C	D
D	62.70				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5. Resultados programa Infostat, numero de yemas florales de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	# Yemas	3.40	0.70	0.77	0.0048
B	# Yemas	3.50	0.71	0.72	0.0010
C	# Yemas	5.30	1.34	0.95	0.7361
D	# Yemas	5.80	2.44	0.90	0.3132
E	# Yemas	8.30	2.06	0.95	0.7361
F	# Yemas	6.80	1.32	0.73	0.0017
G	# Yemas	5.40	1.65	0.92	0.4677
H	# Yemas	6.00	1.63	0.96	0.8671

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
# Yemas	A	3.40	0.70	3.50	40.11	<0.0001
# Yemas	B	3.50	0.71	3.00		
# Yemas	C	5.30	1.34	5.00		
# Yemas	D	5.80	2.44	5.50		
# Yemas	E	8.30	2.06	8.00		
# Yemas	F	6.80	1.32	7.00		
# Yemas	G	5.40	1.65	5.50		
# Yemas	H	6.00	1.63	6.00		

Trat.	Ranks		
A	15.70	A	
B	16.40	A	
C	39.90	B	
G	40.05	B	
D	42.25	B	
H	46.95	B	C
F	56.20	B	C
E	66.55		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Resultados programa Infostat, número de flores de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	# Flores	0.50	0.53	0.61	<0.0001
B	# Flores	1.50	1.35	0.89	0.2550
C	# Flores	1.80	1.48	0.85	0.1051
D	# Flores	0.50	0.85	0.61	<0.0001
E	# Flores	1.40	1.26	0.79	0.0143
F	# Flores	0.40	0.52	0.60	<0.0001
G	# Flores	0.70	0.67	0.79	0.0139
H	# Flores	0.40	0.52	0.60	<0.0001

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
# Flores	A	0.50	0.53	0.50	12.63	0.0424
# Flores	B	1.50	1.35	1.50		
# Flores	C	1.80	1.48	2.00		
# Flores	D	0.50	0.85	0.00		
# Flores	E	1.40	1.26	1.00		
# Flores	F	0.40	0.52	0.00		
# Flores	G	0.70	0.67	1.00		
# Flores	H	0.40	0.52	0.00		

Trat.	Ranks		
F	31.40	A	
H	31.40	A	
D	31.70	A	
A	34.50	A	B
G	39.30	A	B
E	49.90	A	B
B	51.25	A	B
C	54.55		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7. Resultados programa Infostat, número de frutos de frijol.

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	# Frutos	2.80	0.63	0.79	0.0143
B	# Frutos	3.40	0.52	0.60	<0.0001
C	# Frutos	4.00	0.94	0.72	0.0010
D	# Frutos	3.10	1.20	0.79	0.0125
E	# Frutos	3.10	0.99	0.82	0.0353
F	# Frutos	3.00	0.82	0.79	0.0139
G	# Frutos	2.90	0.88	0.76	0.0040
H	# Frutos	3.70	2.26	0.76	0.0040

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# Frutos	80	0.11	0.03	35.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12.20	7	1.74	1.32	0.2517
Tratamiento	12.20	7	1.74	1.32	0.2517
Error	94.80	72	1.32		
Total	107.00	79			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.60199

Error: 1.3167 gl: 72

Tratamiento	Medias	E.E.	
A	2.80	0.36	A
G	2.90	0.36	A
F	3.00	0.36	A
E	3.10	0.36	A
D	3.10	0.36	A
B	3.40	0.36	A
H	3.70	0.36	A
C	4.00	0.36	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. Resultados programa Infostat, longitud de fruto de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Longitud fruto	6.75	0.56	0.89	0.2764
B	Longitud fruto	6.74	0.49	0.92	0.5261
C	Longitud fruto	6.44	0.50	0.96	0.8658
D	Longitud fruto	6.27	1.92	0.74	0.0020
E	Longitud fruto	6.30	0.95	0.95	0.7495
F	Longitud fruto	6.85	0.74	0.88	0.2234
G	Longitud fruto	5.55	1.44	0.81	0.0220
H	Longitud fruto	5.89	1.10	0.96	0.8822

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Longitud fruto	A	6.75	0.56	6.58	10.72	0.1510
Longitud fruto	B	6.74	0.49	6.82		
Longitud fruto	C	6.44	0.50	6.49		
Longitud fruto	D	6.27	1.92	7.03		
Longitud fruto	E	6.30	0.95	6.17		
Longitud fruto	F	6.85	0.74	6.98		
Longitud fruto	G	5.55	1.44	6.30		
Longitud fruto	H	5.89	1.10	6.10		

Anexo 9. Resultados programa Infostat, peso húmedo de fruto de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Peso húmedo fruto	4.60	1.07	0.86	0.1348
B	Peso húmedo fruto	5.30	1.06	0.72	0.0012
C	Peso húmedo fruto	5.70	1.25	0.87	0.1404
D	Peso húmedo fruto	3.60	1.96	0.79	0.0142
E	Peso húmedo fruto	4.10	1.66	0.90	0.3104
F	Peso húmedo fruto	4.50	1.90	0.94	0.6508
G	Peso húmedo fruto	2.60	1.17	0.88	0.2027
H	Peso húmedo fruto	3.00	1.41	0.88	0.2049

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso húmedo fruto	A	4.60	1.07	5.00	26.99	0.0002
Peso húmedo fruto	B	5.30	1.06	6.00		
Peso húmedo fruto	C	5.70	1.25	6.00		
Peso húmedo fruto	D	3.60	1.96	4.50		
Peso húmedo fruto	E	4.10	1.66	4.50		
Peso húmedo fruto	F	4.50	1.90	4.50		
Peso húmedo fruto	G	2.60	1.17	2.00		
Peso húmedo fruto	H	3.00	1.41	3.00		

Trat.	Ranks					
G	19.40	A				
H	24.55	A	B			
D	33.85	A	B	C		
E	39.40	A	B	C	D	
F	44.25		B	C	D	E
A	45.00			C	D	E
B	56.50				D	E
C	61.05					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10. Resultados programa Infostat, peso seco de fruto de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Peso seco fruto	0.75	0.23	0.98	0.9534
B	Peso seco fruto	0.85	0.20	0.91	0.4135
C	Peso seco fruto	0.94	0.23	0.93	0.5822
D	Peso seco fruto	0.62	0.31	0.99	0.9970
E	Peso seco fruto	0.54	0.23	0.94	0.6869
F	Peso seco fruto	0.54	0.23	0.94	0.6869
G	Peso seco fruto	0.41	0.13	0.93	0.5621
H	Peso seco fruto	0.43	0.17	0.87	0.1459

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso seco fruto	A	0.75	0.23	0.72	34.73	<0.0001
Peso seco fruto	B	0.85	0.20	0.87		
Peso seco fruto	C	0.94	0.23	1.00		
Peso seco fruto	D	0.62	0.31	0.64		
Peso seco fruto	E	0.54	0.23	0.55		
Peso seco fruto	F	0.54	0.23	0.55		
Peso seco fruto	G	0.41	0.13	0.39		
Peso seco fruto	H	0.43	0.17	0.47		

Trat.	Ranks
G	18.65 A
H	23.05 A B
E	33.65 A B C
F	33.65 A B C
D	40.80 B C D
A	51.50 C D E
B	59.20 D E
C	63.50 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo11. Resultados programa Infostat, peso húmedo de raíz de frijol.

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Peso húmedo raíz	2.65	0.96	0.83	0.0565
B	Peso húmedo raíz	2.67	1.57	0.91	0.4093
C	Peso húmedo raíz	3.37	1.69	0.95	0.7375
D	Peso húmedo raíz	1.66	1.77	0.72	0.0012
E	Peso húmedo raíz	0.69	0.68	0.81	0.0244
F	Peso húmedo raíz	0.86	0.45	0.82	0.0340
G	Peso húmedo raíz	1.29	0.51	0.94	0.6540
H	Peso húmedo raíz	1.16	0.50	0.81	0.0213

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso húmedo raíz	A	2.65	0.96	2.42	42.71	<0.0001
Peso húmedo raíz	B	2.67	1.57	2.49		
Peso húmedo raíz	C	3.37	1.69	3.05		
Peso húmedo raíz	D	1.66	1.77	1.39		
Peso húmedo raíz	E	0.69	0.68	0.56		
Peso húmedo raíz	F	0.86	0.45	1.04		
Peso húmedo raíz	G	1.29	0.51	1.13		
Peso húmedo raíz	H	1.16	0.50	1.39		

Trat.	Ranks	
E	17.60	A
F	21.85	A
H	31.95	A
G	34.35	A
D	35.15	A
B	57.20	B
A	61.00	B
C	64.90	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 12. Resultados programa Infostat, peso seco de raíz de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Columna1	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	Peso seco raíz	0.32	0.08	0.84	0.1882
B	Peso seco raíz	0.62	0.43	0.97	0.8586
C	Peso seco raíz	0.38	0.14	0.96	0.8168
D	Peso seco raíz	0.32	0.32	0.63	0.0010
E	Peso seco raíz	0.32	0.47	0.66	0.0050
F	Peso seco raíz	0.13	0.07	0.98	0.9380
G	Peso seco raíz	0.17	0.05	0.87	0.3141
H	Peso seco raíz	0.16	0.03	0.99	0.9729

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Columna1	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso seco raíz	A	0.32	0.08	0.35	17.03	0.0169
Peso seco raíz	B	0.62	0.43	0.55		
Peso seco raíz	C	0.38	0.14	0.40		
Peso seco raíz	D	0.32	0.32	0.19		
Peso seco raíz	E	0.32	0.47	0.08		
Peso seco raíz	F	0.13	0.07	0.13		
Peso seco raíz	G	0.17	0.05	0.15		
Peso seco raíz	H	0.16	0.03	0.16		

Trat.	Ranks
F	10.50 A
E	14.10 A B
H	14.20 A B
G	15.30 A B
D	20.80 A B C
A	28.10 B C
C	30.30 C
B	30.70 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 13. Resultados programa Infostat, porcentaje de colonización de frijol

Shapiro-Wilks (modificado)

Tratamiento	Variable	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A	% Colonización	29.00	32.59	0.82	0.1347
B	% Colonización	1.34	2.17	0.74	0.0217
C	% Colonización	67.34	13.95	0.89	0.3929
D	% Colonización	0.00	0.00	sd	>0.9999
E	% Colonización	1.34	2.17	0.74	0.0217
F	% Colonización	46.55	20.99	0.77	0.0510
G	% Colonización	26.38	32.19	0.82	0.1344
H	% Colonización	16.68	27.91	0.72	0.0152

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	Medias	D.E.	Medianas	H	p
% Colonización	A	29.00	32.59	18.30	24.98	0.0005
% Colonización	B	1.34	2.17	0.00		
% Colonización	C	67.34	13.95	65.00		
% Colonización	D	0.00	0.00	0.00		
% Colonización	E	1.34	2.17	0.00		
% Colonización	F	46.55	20.99	33.33		
% Colonización	G	26.38	32.19	6.60		
% Colonización	H	16.68	27.91	1.70		

Trat.	Ranks				
D	7.50	A			
E	11.70	A	B		
B	11.70	A	B		
H	18.00	A	B	C	
G	23.30		B	C	D
A	26.10		B	C	D
F	30.80			C	D
C	34.90				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 14. Desarrollo del proyecto, obtención y desinfección del suelo



a. Germinación de frijol *Phaseolus vulgaris* L. Lado izquierdo germinación con Agua alotropizada y lado derecho germinación con agua testigo.



b. Obtención del suelo en la FES-Zaragoza.



c. Desinfección de suelo y arena sílica en autoclave.



d. Llenado de macetas con arena sílica y suelo.

Anexo 15. Desarrollo del proyecto, montaje del diseño experimental



a. Adición de Na_2SO_4 al suelo.



b. Alotropización del agua.



c. Trasplante de planta de frijol correspondiente a cada tratamiento



d. Desarrollo de las plantas.

Anexo 16. Desarrollo del proyecto, toma y obtención de resultados



a. Floración de frijol



b. Fructificación de frijol



c. Lavado y obtención de raíces para medición de colonización.



d. Medición de frutos de frijol

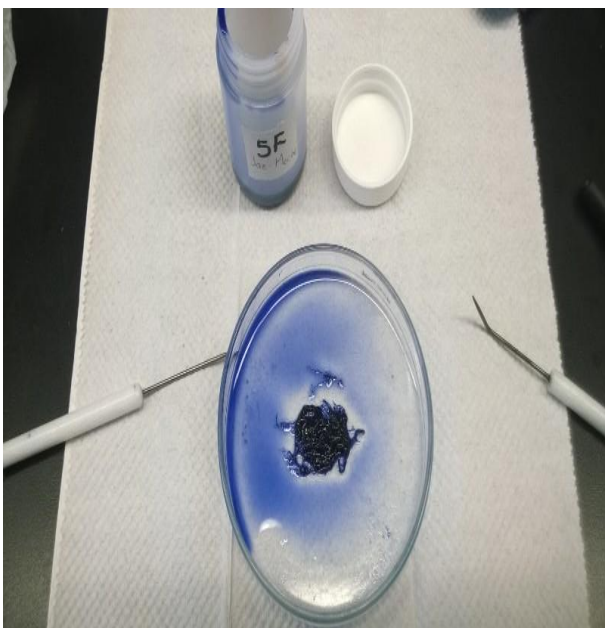
Continuación Anexo 16. Desarrollo del proyecto, toma y obtención de resultados



e. Secado de raíces y frutos.



f. Preparación de raíces para tinción.

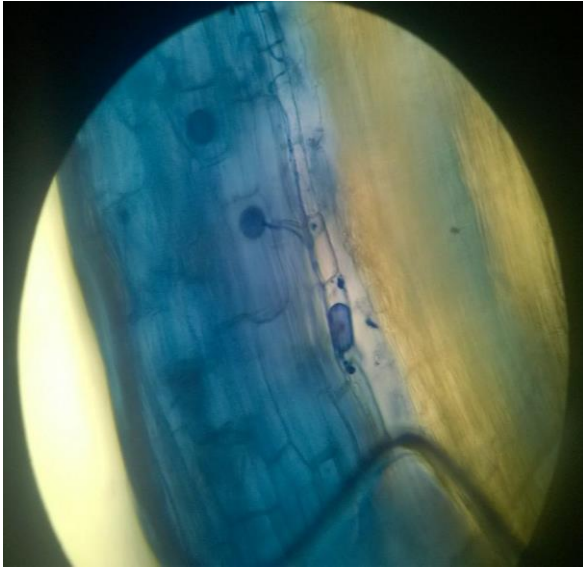


g. Selección de raíces para montaje

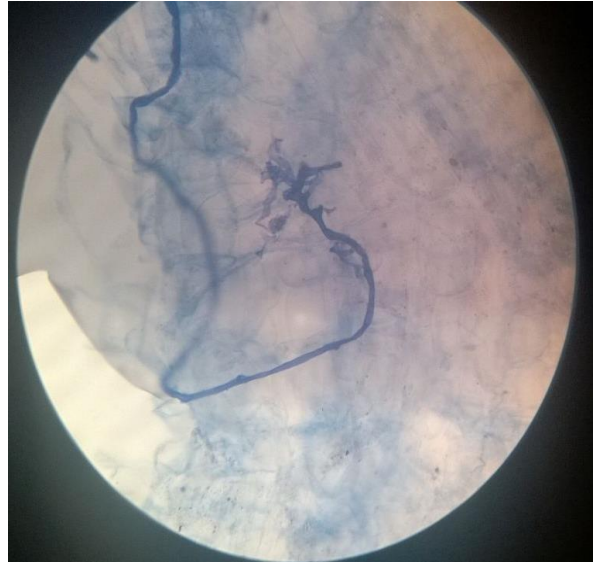


h. Montaje de raíces para contabilizar colonización.

Continuación Anexo 16. Desarrollo del proyecto, toma y obtencion de resultados



i. Raíz de frijol colonizado vistas en microscopio



j. hifas de hongo *Glomus intraradiense* en raíces de frijol.