

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto De La Aplicación De Rizobacterias Y Hongos Micorrízicos En La
Producción Y Calidad De Zanahoria (*Daucus carota* L.).

Por:

HOSANNA ITZEL LONGORIA MARTINEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto De La Aplicación De Rizobacterias Y Hongos Micorrízicos En La
Producción Y Calidad De Zanahoria (*Daucus carota* L.).

Por:

HOSANNA ITZEL LONGORIA MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

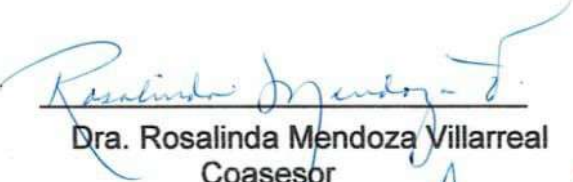
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. José Rafael Paredes Jácome

Asesor Principal



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Coasesor



Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



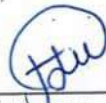
Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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

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



Hosanna Itzel Longoria Martínez

DEDICATORIA

A mi madre **María de los Ángeles Martínez Ruiz**, por apoyarme y ser esa luz en mi camino, por siempre orientarme, uno de mis grandes motores en mi vida académica, el renunciar a sus tiempos o sueños para yo poder lograr los míos, gracias madre por cada consejo y por nunca perder la confianza en mí, pero sobre todo por el gran amor que me dedicas el cual me ayuda a continuar cada día.

A mi padre **José Alfredo Longoria González** por estar presente en cada paso que doy, por nunca abandonarme, gracias por siempre brindarme un consejo para ser mejor estudiante o persona, por ayudarme a entender con más claridad conocimientos de la escuela, pero más por el gran amor que depositas en mí.

A mi abuela, **Tomasa Ruiz Sánchez** por ser mi segunda madre, por cuidarme de pequeña y enseñarme que todo lo que yo quiera alcanzar lo puedo lograr fácilmente, por siempre tenerme abiertas las puertas de tu casa, y por todo el amor que me das.

A mis hermana **Yoloxóchitl Longoria Martínez** gracias por todos los consejos por ser una bendición en mi vida, por ser mi cómplice en cada una de mis aventuras por todo el apoyo incondicional que me brindas y por siempre cuidar de mí, por motivarme a ser mejor persona.

A mis sobrinos **Isabella Cardona Longoria y José Emilio Cardona Longoria** por ser mis pequeños motorcitos en mi corazón y vida, por todo el cariño que me dan por siempre apoyarme.

A mis tíos por siempre estar al pendiente de mis necesidades, darme consejos y apoyarme, se les quiere.

A mis amigos, **María del Carmen Alvares Ovalle, Mario Martin Rodríguez Aguilar, Francisco Jacob Díaz, Jorge Enrique Canales, Janeth Rodríguez, Alondra Hernández, Arturo Campos.** Quiero exaltar la labor de todos ellos por todo el apoyo académico, y los consejos que me dan para ser mejor persona, por ser como las estrellas, no siempre es posible verlos pero sé que siempre están ahí, los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, guiarme y cuidarme en mi camino permitiéndome así seguir cumpliendo mis sueños, uno de ellos la culminación de mi carrera profesional.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por darme la oportunidad de ejercer como estudiante para lograr realizarme como profesionalista brindándome todos los conocimientos, habilidades y por ser un segundo hogar lejos de mi familia.

Al **Dr. José Rafael Paredes Jácome**, por estar en cada paso de mí proceso por cada palabra de aliento y apoyo además de brindarme en gran parte los conocimientos necesarios para realizar el presente trabajo, y por convertirse en un gran amigo.

A la **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal**, por el apoyo brindado, gracias por el conocimiento compartido y especialmente por confianza depositada en mi persona.

A **cada maestro** que ha formado parte de mi vida académica, gracias por las lesiones, gracias por la paciencia y gracias por poniendo cada uno un granito de arena para que mi sueño fuera realizado.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	vii
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVO ESPECÍFICO	14
HIPOTESIS	14
1. REVISIÓN DE LITERATURA	15
1.1. Origen del género <i>Daucus carota</i>	15
1.2. Importancia del cultivo de la zanahoria	15
1.2.1. Producción Nacional.....	15
1.2.2. Producción mundial	16
1.3. Características botánicas del cultivo de zanahoria	16
1.3.1. Sistema radical	16
1.3.2. Tallo.....	16
1.3.3. Hoja	16
1.3.4. Flor	16
1.3.5. Semilla.....	17
1.4. Calidad nutracéutica del cultivo de zanahoria (FAO, 2014)	17
1.5. Clasificación taxonómica de la zanahoria	18
1.6. Requerimientos Edafoclimáticos	18
1.6.1. Suelo	18
1.6.2. Requerimientos climáticos (Temperatura y Humedad Relativa).....	18
1.6.3. Riego	19
1.6.4. Nutrición	19
1.7. Plagas y enfermedades en el cultivo de zanahoria	19
1.7.1. Principales plagas	19
1.7.2. Principales enfermedades	20
1.8. Biofertilizantes	22
1.8.1. Tipos de biofertilizantes	23

	A base de endomicorrizas.....	23
	A base de rizobacterias.....	23
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1.	Ubicación del Experimento	25
2.2.	Acondicionamiento del Terreno.....	25
2.3.	Material Vegetal y Siembra	26
2.4.	Material Microbiológico e Inoculación	26
2.5.	Sistema de Riego y Fertilización	27
2.6.	Manejo del Cultivo.....	27
2.6.1.	Control Fitosanitario	27
2.7.	Descripción de los Tratamientos.....	28
2.8.	Variables Agronómicas Evaluadas.....	28
2.8.1.	Longitud de follaje	28
2.8.2.	Peso Fresco y Seco de zanahoria y biomasa.....	28
2.8.3.	Rendimiento	29
2.9.	Variables de Calidad Evaluadas	29
2.9.1.	Firmeza	29
2.9.2.	Diámetro ecuatorial del fruto.....	29
	Para el diámetro ecuatorial de fruto se determinó al medir la parte central del mismo, la medición (mm) se usó con el vernier digital (marca Steren modelo Her-411).....	29
2.9.3.	Contenido de Vitamina C.....	29
2.10.	Variables Bioquímicas Evaluadas.....	30
2.10.1.	Sólidos Solubles Totales	30
2.11.	Variables Microbiológicas Evaluadas.....	30
2.10.2.	Colonización de Raíz	30
2.12.	Análisis Estadístico	31
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1.	Colonización de raíz.....	35
3.2.	Peso fresco y seco del follaje.....	37
3.3.	Rendimiento (Kg/m ²).....	38

3.4.	Calidad de zanahoria (diámetro polar ecuatorial).....	39
3.5.	Calidad de zanahoria dada en parámetros nutraceuticos	41
4.	CONCLUSIONES	43
5.	REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	44
6.	ANEXOS.....	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la zanahoria	18
Tabla 2. Las principales plagas que atacan al cultivo de zanahoria	20
Tabla 3. Principales enfermedades que atacan al cultivo de zanahoria con mayor importancia dentro del ciclo del cultivo	21
Tabla 4. Productos utilizados durante el periodo del cultivo de zanahoria.....	27
Tabla 5. Contenido de los tratamientos evaluados en el cultivo de zanahoria....	28
Tabla 6. Efecto de las dosis de fertilización e inoculación en colonización radicular y contenido de fósforo de fruto y hoja de zanahoria.....	32
Tabla 7. Efecto de las dosis de fertilización y la inoculación en la producción y caracteres agronómicos en el cultivo de zanahoria.....	33
Tabla 8. Efecto de la dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en los parámetros de calidad y nutraceuticos en zanahoria	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del experimento.....	25
Figura 2. Diagrama de las camas de siembra, distancia entre planta y surcos. ..	26
Figura 3. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en la colonización de raíz (A), contenido P en fruto (B) y hoja (C).	36
Figura 4. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en el peso fresco (A); y seco de follaje (B).	38
Figura 5. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en el rendimiento de zanahoria.....	39
Figura 6. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación en el diámetro polar (A) y diámetro ecuatorial de zanahoria (B).	40
Figura 7. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación para firmeza (A); y contenido de Vitamina C en zanahoria (B).....	42
Figura 8. Raíz de zanahoria colonizada por HMA.....	47
Figura 9. Sitio del experimento	47
Figura 10. Cultivo de zanahoria en pleno crecimiento	48
Figura 11. Determinación de variables morfológicas y de calidad en zanahoria....	48

RESUMEN

La producción de zanahoria es importante por su alto contenido nutrimental, sin embargo, la producción de la misma se puede ver afectada por factores bióticos y abióticos, siendo un factor importante la nutrición del cultivo, cuando se desea incrementar el rendimiento y la calidad nutricional de este cultivo. El presente trabajo se realizó en el área experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; y tuvo como objetivo evaluar la aplicación de biofertilizantes de forma individual y combinada, así como la modificación de la dosis de fertilización en el cultivo de zanahoria. En este sentido se estableció un experimento completamente al azar con arreglo factorial, donde el factor a: fue la dosis de fertilización (75 y 100%), mientras que el factor b: fue la aplicación del inoculo, con los siguientes niveles: testigo (sin aplicación), rizobacteria (*Bacillus* sp), hongos micorrízicos arbusculares (HMA), (C2-GEC, C3-PAR y C8-MUZ) y la combinación de *Bacillus* sp más el consorcio de HMA. El experimento se desarrolló a siembra directa, momento en el cual fueron aplicados los inoculantes, el cultivo contó con sistema de fertirriego por goteo. Se evaluaron variables agronómicas (largo de follaje, peso fresco y seco de fruto y follaje, rendimiento obtenido calculado por m²), variables de calidad (diámetro polar y ecuatorial de fruto, firmeza, contenido de sólidos solubles totales, Vitamina C), así como variables microbiológicas y mineral (% de colonización radicular y contenido de fósforo en fruto y hoja). De manera general el factor dosis de fertilización no mostró diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, la aplicación de biofertilizantes mostró respuestas diversas en las variables evaluadas, siendo la variable de rendimiento (kg/m²) donde se incrementó hasta 33.40 y 18.10%, con la aplicación de HMA, en comparación con los tratamientos testigo y dosis de fertilización al 100 y 75% respectivamente. Lo que demuestra que la aplicación de biofertilizantes y reducción de nutrición química beneficia la producción y calidad en el cultivo de zanahoria.

Palabras claves: biofertilizante, inoculación, rendimiento, *Bacillus*.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) es una hortaliza con alto valor nutritivo, alto contenido de caroteno, provitamina A, que pertenece a la familia Apiaceae (anteriormente conocida como Umbelliferae) (García, 2002). En las últimas décadas la tasa de crecimiento del consumo mundial de zanahoria fue mayor que la tasa de crecimiento de la población. Los principales países productores son China, Rusia y EE UU (FAOSTAT, 2020).

La zanahoria es una de las hortalizas con mayor importancia y difusión en el mundo, se valoriza nutricionalmente por ser excelente fuente de vitaminas y minerales, además de poseer grandes cantidades de hidratos de carbono y beta caroteno o pro-vitamina A como así también vitaminas del grupo B (B3), folatos y vitamina E (Tirador, 2011).

Cuando se pretende incrementar el nivel de producción y calidad de la zanahoria, es necesario utilizar todas las técnicas de producción disponibles, que contribuyan a lograr los rendimientos esperados y estos favorezcan a los productores de la región y del país desde un punto de vista económico y ambiental (López *et al.*, 2015).

Las acciones encaminadas a una producción libre y/o reducida de químicos provienen del pasado, donde no se tenían productos como tal, visualmente comprendían que estas prácticas generaban resultados positivos en el desarrollo y cosecha de sus cultivos y es importante que en la actualidad se aplique agricultura con el menor impacto ambiental (Grageda *et al.*, 2012).

Una de las alternativas para el incremento de la producción de cultivos de forma sustentable utilizar biofertilizantes para la planta, como las micorrizas arbusculares y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que tienden a asociarse con la planta y existe una interacción con los microorganismos, del suelo, a través de esta interacción de simbiosis se facilita la absorción de nutrientes a la planta, con la finalidad de reducir agroquímicos tóxicos y obtener productos más sanos y sustentables para el ambiente (Suarez, 2017).

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la aplicación de rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares en la producción y calidad de zanahoria.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Evaluar la producción y calidad de zanahoria con la aplicación de rizobacterias y hongos micorrízicos.

Cuantificar la colonización por hongos micorrízicos en raíz de zanahoria inoculadas con rizobacterias y hongos micorrízicos.

Determinar el contenido de fósforo en hoja y fruto de zanahoria.

HIPOTESIS

La aplicación de rizobacterias y/o hongos micorrízicos arbusculares de forma individual o en combinación aplicados como biofertilizantes tendrán efecto en la producción y contenido mineral en zanahoria.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Origen del género *Daucus carota*

Son plantas que han existido desde la antigüedad, sus registros vienen de la época griega y romana, teniendo principios en el linaje de los Apiaceae. Es uno de los vegetales más consumidos en el ser humano esto se debe al alto contenido vitamínico que le aporta al ser humano (Saavedra & Kehr, 2015).

La zanahoria naranja corresponde a la familia de las umbelíferas, asimismo nombrado opiáceas. En dicha familia esta hortaliza es la más consumida y más importante (Roque, 2015).

1.2. Importancia del cultivo de la zanahoria

El cultivo de zanahoria ayuda a los nutrimentos del cuerpo es de suma importancia por su alto contenido en vitaminas especial mente la vitamina A, la cual ayuda a mejorar la vista. La Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2016) menciona algunos beneficios de la zanahoria:

- Es rica en fósforo, el cual vigoriza las mentes y cuerpos cansados.
- Es muy útil para eliminar los cólicos y favorece la digestión.
- Es un vegetal diurético que evita la retención de líquidos.
- Relaja los nervios y la ansiedad
- Estimula el sistema inmunológico
- Protege dientes y encías sobre todo si se consume cruda
- Fortalece las uñas y el cabello, al que aporta brillo.

1.2.1. Producción Nacional

En la producción nacional tenemos una superficie sembrada de 12, 160,78 (Ha), los principales estados productores son Guanajuato con 88, 782,49 ton, Puebla

82, 669,41 ton, Zacatecas 64.706,33 ton, México 32, 797,69 ton, Querétaro 17, 795,60 ton, Veracruz 15, 816,09 ton, Tlaxcala 14, 665,84 ton. SIAP (2020).

1.2.2. Producción mundial

El cultivo de la zanahoria a nivel mundial ha tenido un importante crecimiento en los últimos años tanto en producción como en superficie. A nivel mundial encontramos en los primeros tres lugares a el País de china con 18,146,964 ton, Uzbekistán 2,876,031 ton y EE.UU. con 1, 582,238 ton. (FAOSTAT, 2020).

1.3. Características botánicas del cultivo de zanahoria

La planta de zanahoria es herbácea, y dependiendo del tiempo que tome su progreso, lo podemos catalogar como anual o bianual (Gaviola, 2013).

1.3.1. Sistema radical

La forma de las raíces puede ser desde redondeada hasta cilíndrica, El diámetro va desde 1 a 10 cm dependiendo la variedad, lo largo entre 5 y 50 cm, aunque la mayoría de las variedades tienen raíces comprendidas entre los 10 y 25 cm (Rojano, 2020).

1.3.2. Tallo

Se encuentra comprimido al nivel del suelo durante la etapa vegetativa, no podemos ver los entrenudos. En los nudos se localizan las yemas que dan comienzo a la roseta de hojas. El tallo y las ramas son ásperos y pubescentes. Una planta puede tener uno o varios tallos florales cuyo alto varía entre 60 y 200 cm (Alessandro, 2013).

1.3.3. Hoja

Son pubescentes, 2-3 pinnatisectas, con fragmentos lobulados o pinnatífidos. Los pecíolos son largos, expandidos en la base. La primera hoja verdadera emerge 1 o 2 semanas después de la germinación (Rojano, 2020).

1.3.4. Flor

Sus flores de la zanahoria estas son, pequeñas, blancas y lindas los colores pueden variar en ocasiones blanco verdoso o amarillo pálido. (Gaviola, 2013).

Cada flor tiene 5 pequeños sépalos verdes, 5 pétalos, 5 estambres y un ovario bilocular con dos estilos. En zanahoria existe androesterilidad, las anteras no producen polen, destacando dos tipos de androesterilidad (Rojano, 2020).

1.3.5. Semilla

Es el aquenio, su peso es variable: 0.8 y 3 g cada 1000 semillas (Rojano, 2020).

1.4. Calidad nutracéutica del cultivo de zanahoria (FAO, 2014):

COMPUESTO	CANTIDAD (en 100 g)
Calorías	36 g
Agua	86 g
Carbohidratos	10.7 g
Grasas	0.1 g
Proteínas	0.9 g
Cenizas	1.1 g
Calcio	80 mg
Fósforo	30 mg
Hierro	1.5 mg
Vitamina A	10500 U.I.
Tiamina	0.04 mg
Riboflavina	0.04 mg
Niacina	0.5 mg
Ácido ascórbico	3.0 mg
Fibra	1.2 g

1.5. Clasificación taxonómica de la zanahoria

Tabla 1. Taxonomía de la zanahoria

Reino: Plantae.

Nombre común: Zanahoria.

División: Angiospermae.

Clase: Dicotiledónea.

Subclase: Aspiales.

Orden: Solanales.

Familia: Umbeliferaceae.

Género: *Daucus*

Especie: *carota*.

Naturalista (2020).

1.6. Requerimientos Edafoclimáticos

1.6.1. Suelo

Necesita de suelos profundos de 80 cm y sueltos. Tiene que contener con materia orgánica superior al 3.5% y una pendiente inferior al 15%. Los valores del pH pueden oscilar entre los 5.8 y 7. (Ávila, 2015).

1.6.2. Requerimientos climáticos (Temperatura y Humedad Relativa)

La temperatura influye en el crecimiento y metabolismo de los cultivos, además de impactar en los procesos de fotosíntesis, respiración y acumulación de azúcares y almidones, así mismo en la germinación de semilla.

La zanahoria requiere una temperatura óptima entre 15° y 21 °C soportando una mínima de 9°C y máxima 28° C; Humedad relativa del 70 al 80 %; y un requerimiento hídrico medio 600 mm al año (Yumbo, 2019).

1.6.3. Riego

Su requerimiento hídrico de la zanahoria es una lámina de riego de 2.5 a 4 cm/día con una frecuencia de 7 a 14 días, esto también a consideración de donde se cultive con qué tipo de suelo tengamos, exigencias del cultivar, condiciones climáticas y etapas del cultivo (Yumbo, 2019).

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

1.6.4. Nutrición

El objetivo de la fertilización en la producción de cultivos es suplir la necesidad de nutrientes que se encuentran agrupados en macro y micronutrientes, para realizar un aporte correcto de la fertilización lo recomendable es previamente realizar un análisis de suelo en un laboratorio certificado con el que se pueda determinar y aportar de manera correcta las necesidades de la planta.

En forma general la necesidad nutricional en el cultivo de zanahoria son 120 kg/ha de Nitrógeno, 100 kg/ha de P_2O_5 , 300 kg/ ha de K_2O , 100 kg/ha CaO y 50 kg/ha de MgO (Morales, 2021).

1.7. Plagas y enfermedades en el cultivo de zanahoria

1.7.1. Principales plagas

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

Tabla 2. Las principales plagas que atacan al cultivo de zanahoria

Nombre común y científico	Daño directo	Daño indirecto
Mosca de la zanahoria	Larva penetra en la raíz, dejando corredores, quebradas, sobre todo en la parte exterior, que posteriormente serán origen de pudriciones.	Causan lesiones y esto provocaría perdidas.
Gusano de Alambre.	Dañan las raíces haciendo aberturas, encontrándose las larvas dentro de la raíz.	Provocan heridas en la raíz para después ser dañadas por patógenos.
Pulgón	Succionan la savia circulante por el floema, provocando debilitación, deformación de tejidos, marchitamiento, cambios en coloración, y la muerte, afectando más a plantas jóvenes y/o tejidos tiernos.	Crecimiento de un hongo saprófago, "Fumagina", que distribuye el micelio por las hojas afectando la actividad fotosintética de la planta. Transmisión de enfermedades viróticas.
Gusanos grises, rosquillas u orugas cortadoras (<i>Lepidoptera: Noctuidae</i>)	Larva hábito nocturno, alimentándose de hojas o bien cortan a ras del suelo de las plantas jóvenes. En plantas adultas esta se alimenta de las raíces.	En plantas con frutos crean aberturas por la que da entrada a patógenos.

Gaviola, (2013).

1.7.2. Principales enfermedades

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

Tabla 3. Principales enfermedades que atacan al cultivo de zanahoria con mayor importancia dentro del ciclo del cultivo

Enfermedad	DAÑOS
Tizón de la hoja.	Las lesiones son de color marrón oscuro en pecíolos de la hoja, teniendo un margen amarillo comenzando por las hojas viejas, siendo así expuestas a ser frágiles y romper fácilmente.
Cavitti spot	Son manchas largas, cuando inicia su color es traslucido para después ir tomando un color negro después aparecer grietas y fisuras longitudinales.
Amarillamiento del Aster.	Hojas amarillas y bronceadas y hojas en escoba, en raíz necrosis en parte interna.
Fumagina	Capa de hollín obscuro que interrumpe el proceso de fotosíntesis en las hojas.

(López, 2017).

1.8. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos que tienen microorganismos vivos, con la capacidad para colonizar la rizósfera o el interior de las plantas, ya incomparados al suelo y/o a éstas, a través de la inoculación, pueden vivir asociados o en simbiosis con las especies vegetales, ayudándole a su nutrición y protección, con ellos buscamos suplantar parcial o totalmente la aplicación de fertilizantes sintéticos, para lograr una reducción a la contaminación (Moreno Reséndez, et al. 2018).

Las ventajas de los biofertilizantes son que tienen capacidad para sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, a través de varios procesos como fijación de N₂ atmosférico, solubilización de Fe y P inorgánicos, incrementan la tolerancia al estrés por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de plaguicidas, al igual que pueden ser capaces de disminuir o prevenir los efectos de organismos patógenos, así desempeñando ambas funciones - promueven crecimiento e inhiben efectos de patógenos, por ejemplo *Bacillus subtilis* produce auxinas para promover el crecimiento de tomate e induce resistencia sistémica contra *F. oxysporum*, responsable de la marchitez y pudrición de sus raíces (Moreno Reséndez, et al. 2018).

Estudios indican que el crecimiento de la planta al modificar la morfología del sistema radicular durante el proceso de infección con microorganismos provoca un gran impacto en ciertos mecanismos, como una mejor absorción de agua y el incremento en el suplemento de nutrientes inmóviles en el suelo, principalmente el fósforo, que aumentan la tolerancia al estrés abiótico, la resistencia a los patógenos del suelo en combinación con otros agentes de biocontrol y mejoran la estructura del suelo formando macro y micro agregados y también originan cambios en los exudados radicales, los cuales alteran la descomposición por microorganismos en la rizósfera del suelo (Posta & Duc 2020; Saia et al. 2020).

1.8.1. Tipos de biofertilizantes

A base de endomicorrizas

Los hongos micorrízicos arbusculares son microorganismos beneficiosos del suelo que establecen simbiosis mutualistas con las raíces de los cultivos alimentarios más importantes y desempeñan un papel clave en el mantenimiento de la fertilidad y la salud del suelo a largo plazo. La gran diversidad de HMA inter e intraespecífica se puede aprovechar al máximo seleccionando inóculos de HMA en función de su capacidad y eficiencia de colonización, que se ven afectados por genotipos de hongos y plantas y diversas variables ambientales. Los múltiples servicios que brinda AMF son el resultado de las actividades sinérgicas de las comunidades bacterianas que viven en la micorrizosfera, que abarcan la fijación de nitrógeno, la solubilización Fe, de P y la producción de fitohormonas, sideróforos y antibióticos (Giovannini et al. 2020).

Sin embargo, estos beneficios que promueven el crecimiento pueden variar debido a la especificidad funcional y del hospedador de la HMA. En general, una mayor diversidad de HMA se considera beneficiosa para el crecimiento de las plantas, ya que realizan una variedad de funciones ecológicas (Crossay et al., 2020).

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

A base de rizobacterias

Este tipo de bacterias hacen referencia a todas las bacterias que son capaces de mejorar el crecimiento de las plantas a través de uno o más mecanismos, también tienen la capacidad de colonizar rápidamente el sistema radicular favoreciendo el crecimiento y rendimiento (Berendsen, Pieterse y Bakker, 2012). Las Rizobacterias representan alrededor del 2 al 5 % de las bacterias rizosféricas, y pertenecen a los

géneros de: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcous*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Serratia* (Ahemad y Kibret, 2013).

Las rizobacterias también pueden ser nombradas por las siglas RPCV estas tienen efectos benéficos en las plantas a través de mecanismos. Los mecanismos directos suceden cuando aumenta la disponibilidad de diferentes elementos nutritivos, solicitados para su metabolismo y para mejorar su proceso de nutrición. Ejemplos del mecanismo directo encontramos: la fijación de nitrógeno (N); la síntesis de fitohormonas, vitaminas y enzimas, la solubilización de fósforo (P) inorgánico y la mineralización de fosfato orgánico, la oxidación de sulfuros, el incremento de la permeabilidad de las raíces (Moreno Reséndez et al., 2018).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del Experimento

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



Figura 1. Ubicación del experimento

2.2. Acondicionamiento del Terreno

Se llevó a cabo una limpieza de la parcela además de un barbecho y rastreo manual para tener buena estructura del suelo.

Se removió el suelo entre 25–30 cm de profundidad con la finalidad de tener un mejor aprovechamiento de agua, se eliminaron malezas, restos de plásticos de acolchado, terrones y raíces; en la Figura 2 se describen las medidas de las 8 camas que se realizaron y utilizaron para siembra.

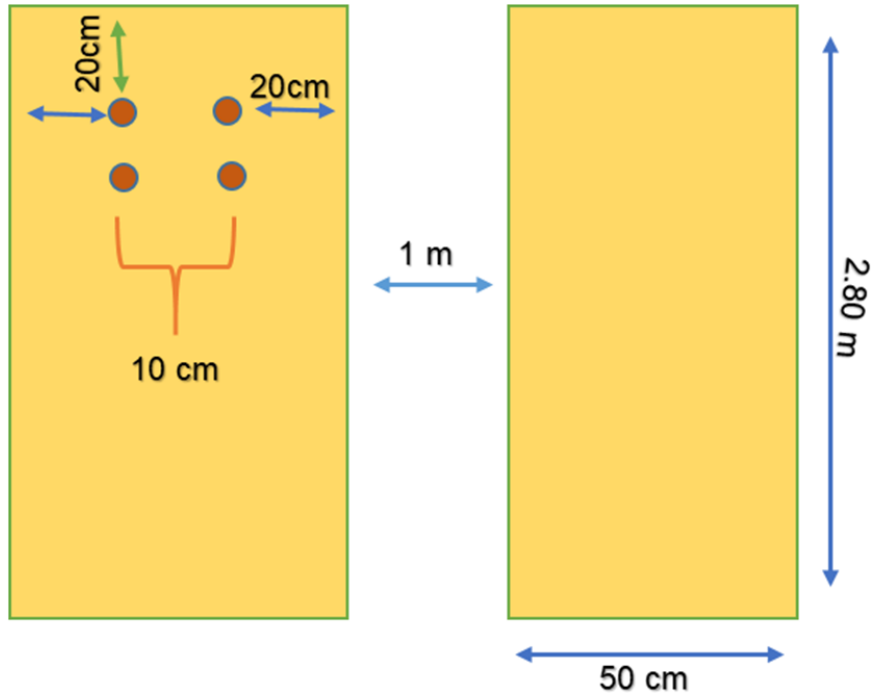


Figura 2. Diagrama de las camas de siembra con distancia entre planta y surcos.

2.3. Material Vegetal y Siembra

Materia vegetal utilizado es el Nanco F1 Nantesa híbrida (semilla de zanahoria). La siembra se hizo de manera manual y directa al suelo, el establecimiento de siembra se hizo con espaciamientos a doble hilera con 10 cm entre planta, 10 cm entre hileras y 1 m entre surcos, teniendo un total de 18 plantas por m².

2.4. Material Microbiológico e Inoculación

Se utilizaron inóculos en consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) proporcionados por el Laboratorio de Microbiología del Departamento de Horticultura de la UAAAN los cuales estaban catalogados de la siguiente forma: C2-GEC (*Glomus* sp.1, sp. 2, sp. 3, *Claroideoglomus* sp. 1, *Acaulospora* sp. 1, sp. 2 y *Gigaspora* sp. 1.); C3-PAR (*Acaulospora* sp.1, sp. 2, sp. 3, sp. 4 y *Glomus* sp. 1.) y C8-MUZ (*Acaulospora* sp.1, sp. 2, y *Glomus* sp.1, sp. 2.). La inoculación se realizó

de manera directa añadiendo 50 g de inoculo con cada consorcio de HMA al momento de siembra. En relación a la rizobacteria nativa aplicada, se utilizó una cepa de *Bacillus* sp a una concentración de 10^8 UFC ml⁻¹

2.5. Sistema de Riego y Fertilización

El suministro de agua de riego en las plantas fue mediante un sistema de riego por goteo de forma continua con un caudal en los emisores de 1L ha⁻¹, los emisores tenían 30 cm de espaciamiento. Se aplicó solución Steiner a diferente concentración (75 y 100 %) debido a que los HMA y las rizobacterias proporcionan los nutrientes necesarios del medio rizosférico.

2.6. Manejo del Cultivo

2.6.1. Control Fitosanitario

La eliminación de malezas se hizo de manera manual entre hilera, así como entre pasillos; se realizaron aplicaciones preventivas y de control para las principales plagas y enfermedades del cultivo, se realizaron aplicaciones orgánicas y químicas (Tabla 4).

Tabla 4. Productos utilizados durante el periodo del cultivo de zanahoria.

Nombre del producto	Categoría	Período de aplicación	Volumen de agua mL L ⁻¹
Chaneem (extracto de chile, neem y canela)	Insecticida	1 vez por semana	10
Actara (tiаметoxam)	Insecticida	1 vez cada quince días	1.5

Confidor (imidacloprid)	Insecticida	1 vez por semana	1.5
-------------------------	-------------	------------------	-----

2.7. Descripción de los Tratamientos

Se evaluaron rizobacterias y hongos micorrízicos en forma de biofertilizantes y los tratamientos se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Contenido de los tratamientos evaluados en el cultivo de zanahoria.

Descripción		
Dosis de fertilización	75 % solución Steiner	100% solución Steiner
Tratamientos		
T1	Testigo (sin inoculación)	
T2	Rizobacteria (<i>Bacillus</i> sp)	
T3	HMA (C2-GEC, C3-PAR y C8-MUZ)	
T4	Rizobacteria (<i>Bacillus</i> sp) + HMA	

HMA= Hongos Micorrízicos Arbusculares, 50 g de suelo (30 esporas), Rizobacteria = 10^8 UFC ml⁻¹

2.8. Variables Agronómicas Evaluadas

2.8.1. Longitud de follaje

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

2.8.2. Peso Fresco y Seco de zanahoria y biomasa

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

2.8.3. Rendimiento

Se cosecho de forma manual y se pesó la zanahoria de forma individual por cada tratamiento y repetición se obtuvo el peso con una báscula semi analítica (marca Ohaus, modelo Cs); se realizó el cálculo de rendimiento de Kg/m².

2.9. Variables de Calidad Evaluadas

2.9.1. Firmeza

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

2.9.2. Diámetro ecuatorial del fruto

Para el diámetro ecuatorial de fruto se determinó al medir la parte central del mismo, la medición (mm) se usó con el vernier digital (marca Steren modelo Her-411).

2.9.3. Contenido de Vitamina C

Se realizó la técnica que consiste en tomar muestras (4 g) para macerar de zanahoria y se agregó 10ml de HCl, luego de obtener una consistencia tipo papilla se agregaron 100ml de agua destilada para ambas sustancias que debían ser filtradas. Posteriormente de colocarla en un matraz Erlenmeyer de 250 ml se toma una muestra o alícuota de 10ml previamente filtrada para luego pasarla a otro matraz de 125ml. Se tomó una bureta y se llenó con el reactivo Thielman con el cual se realizaron las titulaciones de alícuota hasta que se presentó la coloración rosa por un tiempo mayor a los 30 segundos. Se anotó el volumen gastado, finalmente se calculó el contenido de Vitamina C expresado con la siguiente formula:

$$\text{Vitamina C (mg/100 gr de zanahoria)} = \frac{\text{VRT} * 0.088 * \text{VT} * 100}{\text{VA} * \text{P}}$$

$$\text{VA} * \text{P}$$

Dónde:

VRT= volumen gastado en ml del reactivo de Thielmann.

0.088 =Miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 ml de reactivo de Thielmann.

VT = Volumen Total en ml del filtrado de vitamina "C" en HCl.

VA = Volumen en ml de la alícuota valorada.

P = Peso de muestra en gramos.

2.10. Variables Bioquímicas Evaluadas

2.10.1. Sólidos Solubles Totales

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

2.11. Variables Microbiológicas Evaluadas

2.10.2. Colonización de Raíz

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

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

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

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

2.12. Análisis Estadístico

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

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 6, la colonización de raíz tuvo significancia por el factor de inoculación, siendo la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) la que obtuvo mayor resultado, por su parte el factor dosis de fertilización y la interacción de ambos factores mencionados no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 6). La aplicación de los HMA de forma individual superó en 159.47% la colonización radicular en comparación con el inoculo combinado. El contenido de Fósforo (P) en fruto y en hoja mostró diferencias significativas con el factor de inoculación, mientras que el factor dosis de fertilización y la interacción de ambos factores no mostraron diferencia significativa. El P en fruto con el tratamiento *Bacillus* sp +HMA fue 28.8% mayor en comparación con el testigo, mientras que el contenido de P en hoja con el tratamiento a base de *Bacillus* sp fue 18.58% en contraste con el testigo.

Tabla 6. Efecto de las dosis de fertilización e inoculación en colonización radicular y contenido de fósforo de fruto y hoja de zanahoria.

Dosis de fertilización (%)	Colonización de raíz (%)	P en fruto (g/kg)	P en hoja (g/kg)
75	20.75 ^a	2.38a	2.46a
100	21.44 ^a	2.45a	2.57a
ANVA P≤	0.7382	0.3106	0.0689
Inoculación			
Test	5.25c	2.22b	2.26b
<i>Bacillus</i> sp	5.88c	2.24b	2.68a
HMA	52.88 ^a	2.33b	2.59a
<i>Bacillus</i> sp+HMA	20.38b	2.86a	2.53a
ANVA P≤	0.0001	.0001	.0001
Interacción P≤	0.2046	.0102	.0069
CV (%)	27.26	7.28	6.35

ANVA P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de Tukey p≤ 0.5, interacción = dosis de fertilización * inoculación, CV = Coeficiente de variación.

La longitud de follaje y el peso fresco de zanahoria, no se vio afectado por la dosis de fertilización, sin embargo, el peso fresco y seco de follaje, así como el peso seco de zanahoria si se vio influenciado por la dosis de fertilizante. Por su parte el factor inoculación tuvo diferencias significativas en los caracteres agronómicos y de producción evaluados (Tabla 7).

El factor de inoculación, específicamente el tratamiento de HMA fue superior en 9.09, 57.5, 53.79, 13.07 y 3.25 % en las variables longitud de follaje, peso fresco y seco de follaje, peso fresco y seco de zanahoria respectivamente, en comparación con el tratamiento testigo. Así mismo, la interacción de ambos factores (dosis de fertilización e inoculación), demostró diferencias significativas $p \leq 0.0001$ (Tabla 7).

Tabla 7. Efecto de las dosis de fertilización y la inoculación en la producción y caracteres agronómicos en el cultivo de zanahoria.

Dosis de fertilización (%)	Longitud de follaje (cm)	Peso fresco follaje (g)	Peso seco de follaje (g)	Peso fresco zanahoria (g)	Peso seco zanahoria (g)
75	38.18a	33.19b	6.05b	263.94a	32.75a
100	37.78a	40.75a	7.03a	256.19a	29.60b
ANVA $P \leq$	0.4130	0.0001	0.0001	0.0596	0.0001
Inoculación					
Test	35.94c	31.50b	5.54c	263.00b	31.34a
<i>Bacillus</i> sp	37.61bc	31.88b	5.60c	234.38c	29.83b
HMA	39.50a	49.63a	8.52a	297.38a	32.36a
<i>Bacillus</i> sp+HMA	38.88ab	34.88b	6.50b	245.50c	31.17b
ANVA $P \leq$	0.0001	.0001	0.0001	0.0001	0.0003
Interacción $P \leq$	0.0006	.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CV (%)	3.58	8.54	5.18	4.08	3.12

ANVA $P \leq$ = análisis de varianza acorde a la prueba de Tukey $p \leq 0.5$, Interacción = dosis de fertilización * inoculación, CV = Coeficiente de variación.

El factor dosis de fertilización no mostró diferencia significativa en el contenido de Vitamina C y sólidos solubles totales, sin embargo, en las variables longitud y diámetro ecuatorial de zanahoria, y firmeza si afectó la dosis de fertilización (Tabla 8). Por su parte el factor inoculación no mostró diferencias significativas en la longitud, firmeza y contenido de sólidos solubles totales en zanahoria; en cambio en la variable diámetro ecuatorial de zanahoria fue superior el tratamiento HMA en 19.67 % en comparación con el menor valor obtenido (*Bacillus* sp+HMA) en esa variable, a su vez el contenido de Vitamina C fue superior en el tratamiento testigo.

En cuanto a la interacción de factores evaluados, únicamente en la variable contenido de sólidos solubles totales no se encontró diferencia significativa, motivo por el cual no se graficó el resultado de la interacción (Tabla 8).

Tabla 8. Efecto de la dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en los parámetros de calidad y nutraceuticos en zanahoria.

Dosis de fertilización (%)	Diámetro polar de zanahoria (cm)	Diámetro ecuatorial de zanahoria (mm)	Firmeza (kg)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Vitamina C (mg/100g)
75	23.11a	37.18b	11.29b	7.37a	2.63a
100	21.66b	39.67a	12.06a	7.14b	2.57a
ANVA P≤	0.0124	0.0006	0.0226	0.5987	0.4352
Inoculación					
Test	23.48a	39.76a	11.88a	7.30a	2.86a
<i>Bacillus</i> sp	22.15a	39.36a	11.94a	7.41a	2.55b
HMA	22.23a	40.63a	10.90a	7.18a	2.21c
<i>Bacillus</i> sp+HMA	21.69a	33.95b	12.00a	7.13a	2.80ab
ANVA P≤	0.1336	0.0001	0.0660	0.9655	0.0001
Interacción P≤	0.0385	0.0001	0.0122	0.2711	0.0028
CV (%)	6.75	4.66	7.64	16.91	8.22

ANVA P≤ = análisis de varianza acorde a la prueba de Tukey p≤ 0.5, Interacción = Dosis de fertilización *inoculación, CV = Coeficiente de variación.

3.1. Colonización de raíz

La respuesta de la inoculación con los diferentes tratamientos y el efecto de la dosis de fertilización resultó ser similar en cuanto a los inóculos utilizados (Figura 3A), en cuanto al contenido de fósforo en fruto, la dosis de fertilización al 75% y 100% con inoculación de *Bacillus* sp+HMA fue superior en contraste con los demás resultados (Figura 3B). Así mismo el contenido de fósforo en hoja de zanahoria mostró resultados similares entre los tratamientos con inoculación, pero si hubo diferencias con los tratamientos testigos en ambas dosis de fertilización (Figura 3C).

El valor promedio de colonización con los HMA fue de 53% de colonización con dosis de 75 y 100%, seguido del tratamiento que combina la *Bacillus* sp+HMA con un promedio de 23% de colonización radicular de zanahoria.

La inoculación con HMA incrementa potencialmente el grado de colonización en raíces de los cultivos que puede llegar a alcanzar los mismos, así como una serie de beneficios posteriores que trae consigo esta simbiosis tal como menciona Quiñones-Aguilar *et al.* (2012).

Inocular especies hortícolas de interés con HMA, bajo condiciones climáticas apropiadas, así como las características físicas, químicas e interacciones biológicas del suelo determinan la colonización que un Hongo Micorrízico puede alcanzar en su hospedero (Pérez *et al.* 2011) por lo que a pesar de haber inoculado el HMA en combinación con rizobacterias no se obtuvo el mismo grado de colonización puesto que incluso el manejo de un suelo afecta este proceso como es reportado por Sangabriel-Conde *et al.* (2010).

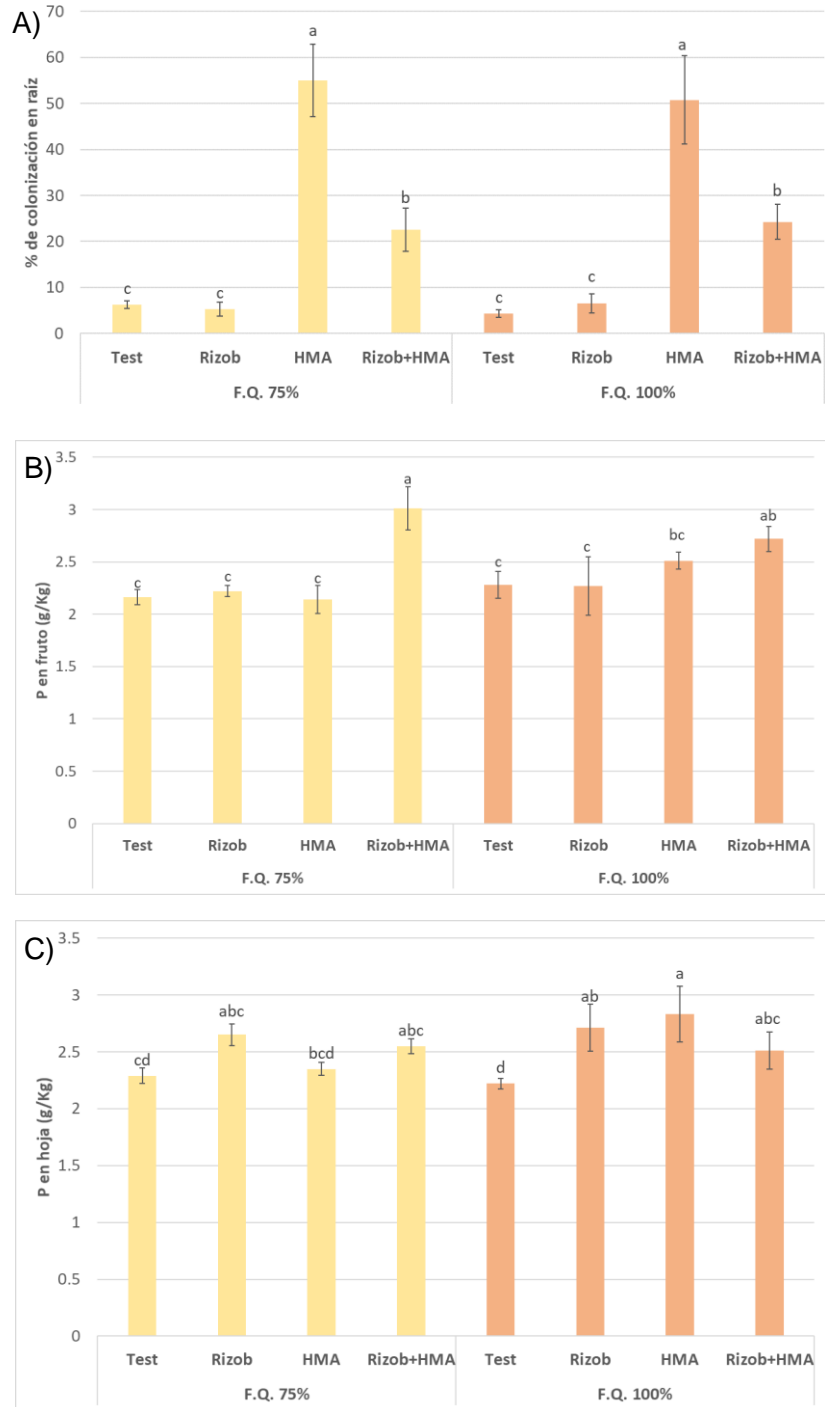


Figura 3. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en la colonización de raíz (A), contenido de fósforo en fruto (B) y hoja (C).

3.2. Peso fresco y seco del follaje

Para estas variables de respuesta evaluadas, se observó que el tratamiento con HMA y dosis de fertilización química al 100% se obtuvo el mayor resultado en ambas variables (Figura 4A y 4B).

Las plantas que fueron cultivadas e inoculadas con HMA y una fertilización al 100%, incrementaron el follaje en fresco un 118.4 y 116.6% en comparación con el testigo de la misma dosis y al 75% de fertilización respectivamente; así mismo el peso seco fue 107.7 y 106.2% mayor en comparación con el testigo y dosis de fertilización al 100 y 75% respectivamente.

Este resultado se puede deber a que los cultivos hacen simbiosis con microorganismos benéficos tales como lo son los HMA, presentan un mejor desarrollo y adaptación a los diferentes medios en los que se desarrollan gracias a su mejor absorción y transporte de minerales y nutrientes (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012).

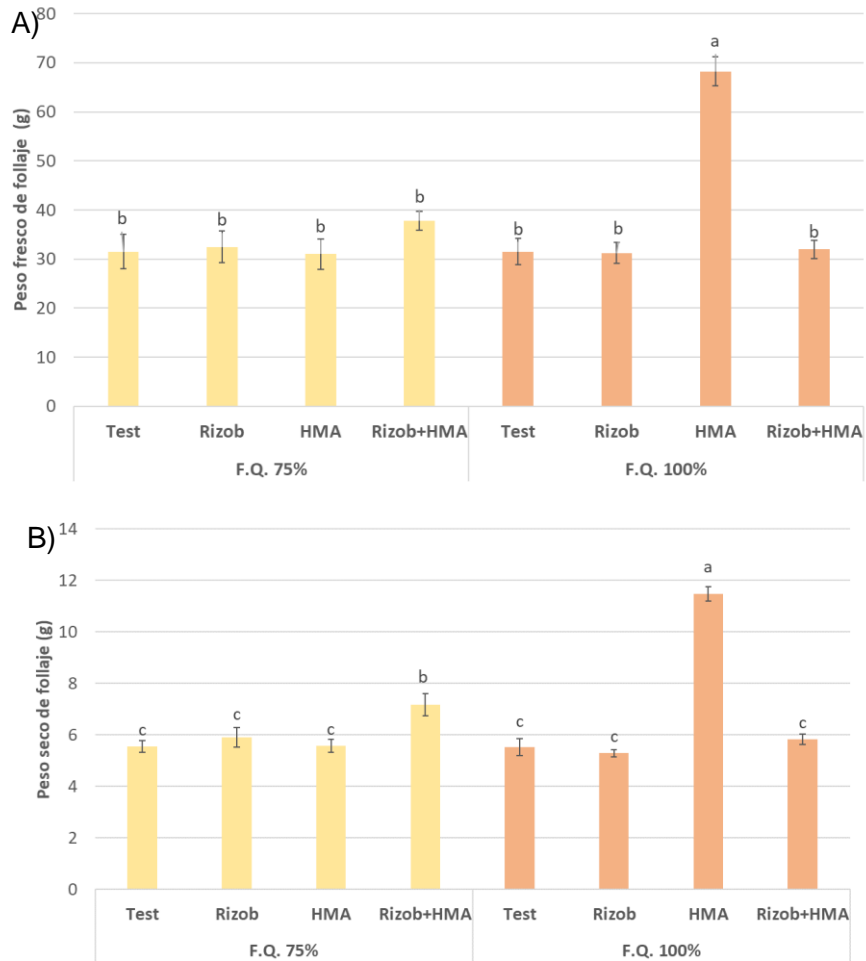


Figura 4. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación de biofertilizantes en el peso fresco (A); y seco de follaje (B).

3.3. Rendimiento (Kg/m²).

Para la siguiente variable de respuesta, el rendimiento de zanahoria fue superior con las dosis de fertilización al 100% (Figura 5). Las plantas que fueron inoculadas con HMA y una dosis de fertilización al 100% obtuvieron el mayor peso de zanahoria, superando en 33.40 y 18.10 a los tratamientos testigo con fertilización al 100 y 75% respectivamente.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Keller-Pearson et al., (2020), donde inocularon diversas especies de HMA en zanahoria y el peso fresco se vió incrementado aun en condiciones de déficit hídrico; así mismo da Silva França et al., (2020) al inocular rizobacterias con reducción de hasta el 20% de Nitrógeno

obtuvo resultados favorables en el peso de la zanahoria. Esto demuestra que los HMA y microorganismos promueven mayor rendimiento debido a los beneficios derivados de la simbiosis HMA-Planta, lo que se asocia con un incremento en la absorción de agua y nutrientes, Carpio et al. (2010).

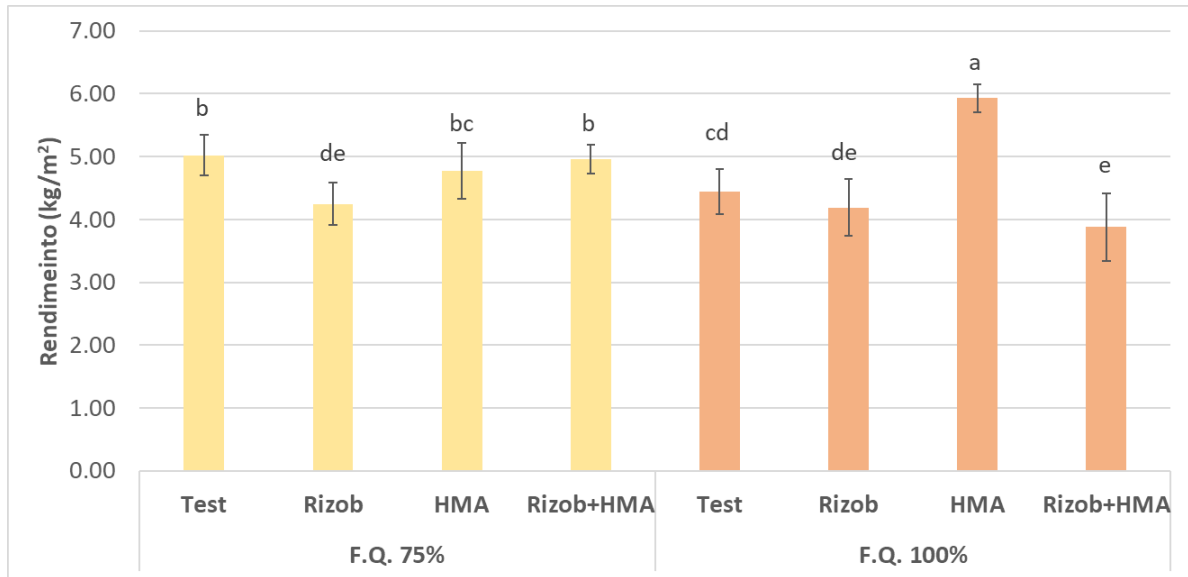


Figura 5. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización y HMA en el rendimiento de zanahoria.

3.4. Calidad de zanahoria (diámetro polar ecuatorial)

Para la variable diámetro polar de zanahoria, se observó que las diferentes dosis de fertilización no afectaron en los resultados, mientras que en la variable diámetro ecuatorial la dosis de fertilización al 100% fue superior a los resultados obtenidos con el 75% (Figura 6A y 6B).

En la variable diámetro polar de fruta, se obtuvieron resultados similares al testigo, en comparación con la inoculación de rizobacterias y HMA, esto se puede deber a respuesta fisiológica propia del híbrido de zanahoria utilizado en este experimento.

En la variable diámetro ecuatorial de fruto, resultaron los mayores valores con la inoculación de HMA y la aplicación de *Bacillus* sp, superando en 11.15, 17.09,

1.22 y 6.63% el resultado obtenido en los testigos con dosis al 100 y 75% respectivamente (Figura 5B).

Lo anterior coincide con lo obtenido por Keller-Pearson et al., (2020), con la inoculación de diferentes HMA con la evaluación de regímenes hídricos, se obtuvo mayor crecimiento de zanahoria en comparación con los tratamientos sin inoculación.

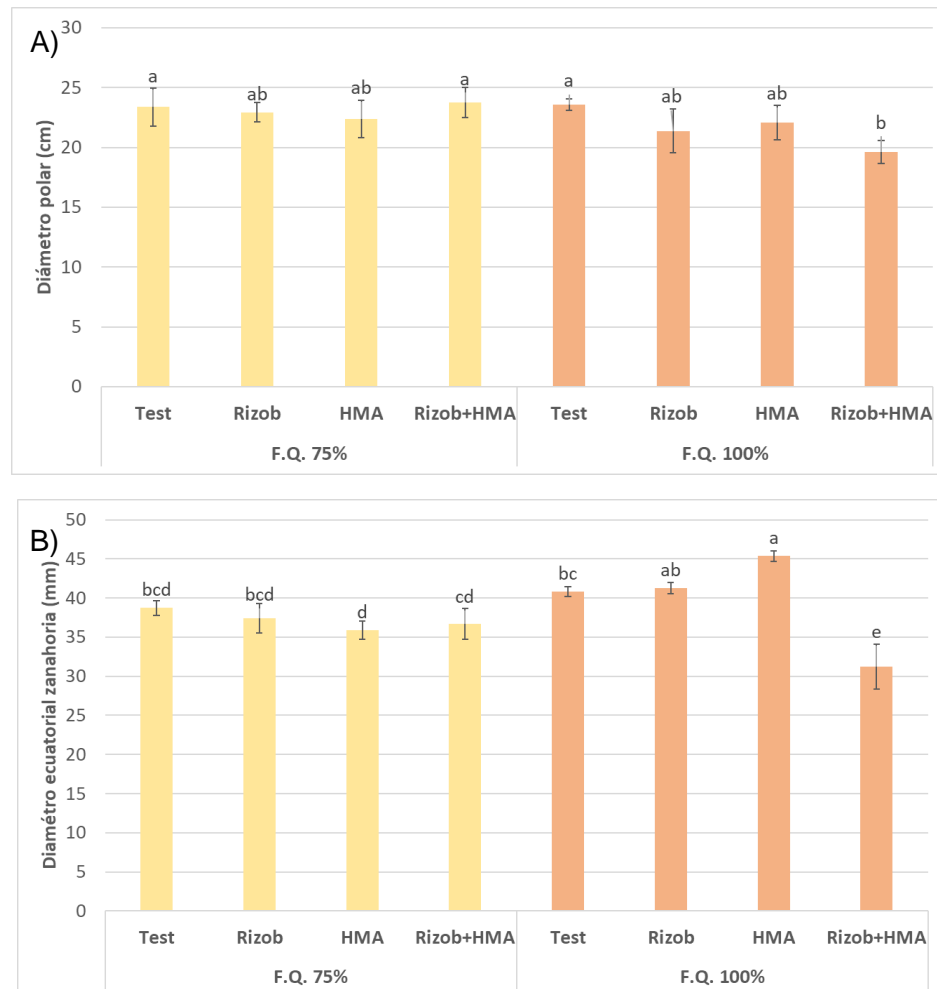


Figura 6. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación en el diámetro polar (A) y diámetro ecuatorial de zanahoria (B).

3.5. Calidad de zanahoria dada en parámetros nutraceuticos

El efecto de las variables de respuesta firmeza de zanahoria y acumulación de solidos solubles totales, no está ligado a las diferentes dosis de fertilización (Figura 7A y 7B).

Las plantas que fueron inoculadas y el tratamiento testigo sin inocular se comportó de manera similar en la variable de firmeza de zanahoria; por su parte el contenido de Vitamina C resultó superior en ambas dosis de fertilización; al 75% con las zanahorias testigo y los inoculados con Rizobacterias, mientras que al 100% las zanahorias con *Bacillus* sp y *Bacillus* sp+HMA.

Esto demuestra que inocular con biofertilizantes se obtiene un mejor desarrollo de planta, acumulación de biomasa y por ende frutos de mejor calidad según los parámetros establecidos según la productividad hortícola (Díaz *et al.* 2013).

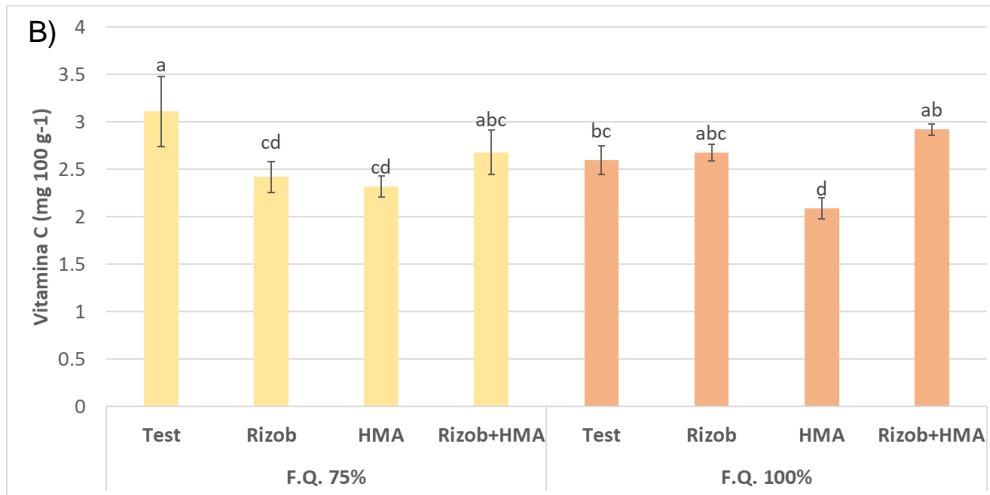
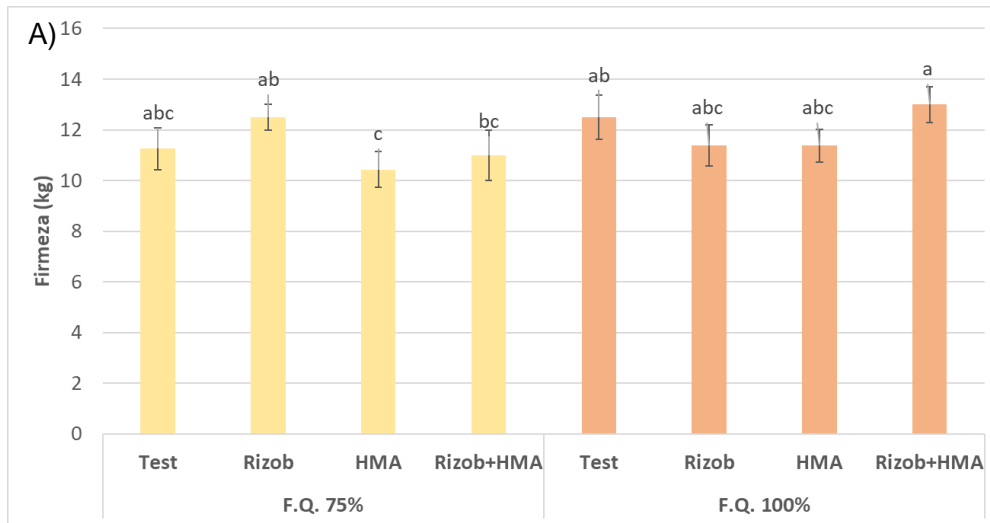


Figura 7. Efecto de la interacción entre dosis de fertilización e inoculación para firmeza (A); y contenido de Vitamina C en zanahoria (B).

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo obtenido la aplicación de HMA y las diferentes dosis de fertilización derivado del porcentaje de inoculación encontrado y al contenido de fósforo en el cultivo se incrementó la producción en las variables agronómicas, rendimiento (kg/m^2), y en las variables de calidad. La aplicación de *Bacillus* sp no mostró sinergismo con el cultivo en variables agronómicas y de calidad, sin embargo, falta analizar los minerales, posiblemente por la alta concentración de dosis de fertilización utilizada, ya que las rizobacterias no funcionan con dosis altas de N, sin embargo, es una alternativa para investigar en otros trabajos. La aplicación de biofertilizante en el cultivo de zanahoria resulta ser una alternativa viable para su producción y para el incremento de calidad de la misma.

5. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

- Ahemad, M. & Kibret, M. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
- Ávila, E. (2015). Manual zanahoria. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Camara de Comercio de Bogotá: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci*, 17(8), 478-486. doi: 10.1016/j.tplants.2012.04.001.
- Carranza Durán, C. A. (2006). Reacción fenológica y agronómica de dos cultivares de Zanahoria (*Daucus carota*) a la inoculación de cepas de micorriza en campo. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. de Bogotá, C. D. C. (2015). Manual zanahoria.
- Díaz F. A., A. C. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. . *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 315-321.
- Da Silva França, A. R., Borcioni, E., Paixão, C. A., Araújo, R. S., de Campos, R. V., & da Cruz, S. P. (2020). Growth and yield of carrot inoculated with *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 385-392.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R. y Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana* , 36(3), 251-258.
- Elhindi, K. M., El-Din, A. S., & Elgorban, A. M. (2017). The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi journal of biological sciences*, 24(1), 170-179.
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S., and Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. *Front. Plant Sci.* 10:470.
- FAO. 2014. Productos frescos de verdura. Probar. 75-80.
- FAOSTAT. (12 de octubre de 2022). *The statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/T/TP/>.
- Gaviola, J. C. (2013). Manual de producción de zanahoria. Mendoza, Argentina: INTA, 97-98.

- García, M. (2002). El cultivo de zanahoria. Universidad de la república Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. pp 105 -140.
- Giovannini, L., Sbrana, C., Avio, L., & Turrini, A. (2020). Diversity of a phosphate transporter gene among species and isolates of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS microbiology letters*, 367(2), fnaa024.
- Grageda, O., Diaz, A., SS, J., 1 Vera, J. (2012, septiembre). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), pp.2-4.
- Keller-Pearson, M., Liu, Y., Peterson, A., Pederson, K., Willems, L., Ané, J.-M., & Silva, E. M. (2020). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi has a more significant positive impact on the growth of open-pollinated heirloom varieties of carrots than on hybrid cultivars under organic management conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 289, 106712.
- López, E., Garza, S., Huez, M., Jimenez, J., y Rueda, E. (2015). Producción de pepino (*Cucumis Sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. *European Scientific Journal*, 11(24), 2-7.
- López C. (2017) Eficacia de abamectina en tratamientos a semilla de Zanahoria (*Daucus Carota* L.), para el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) chitwood, bajo condiciones de macrotunel, Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 22, 52 OP.
- McGonigle, T. P. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol*, 495-501.
- Moreno Reséndez, A., Carda Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83.
- Morales Pérez, J. M. (2021). Efecto del uso de nanofertilizantes e hidrorretenedores en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) (Bachelor's thesis).
- Pérez C, A. R. (2011). Hongos formadoras de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *colombia de ciencia animal* , 366-385.
- Posta, K., & Duc, N. H. (2020). Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi application to crop production under water scarcity. *Drought-Detection and Solutions*, 25-37.
- Quiñones-Aguilar, E. E.-A.-E.-C. (2012). Interaccion de hongos micorrizicos arbusculares y fertilizacion fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*, 165-176.

- Rojano Escobar, M. Á. (2020). Evaluación de la recuperación del suelo utilizando tres abonos orgánicos a diferentes dosis en el cultivo de la zanahoria (*daucus carota*) sector Salache, Cantón Latacunga, Provincia Cotopaxi 2019–2020 (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Ruiz-Lozano, J. M. (2012). Regulation by arbuscular mycorrhize of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of experimental botany*, 4033-4044.
- Sangabriel-Conde Wendy, T.-A. D.-E.-C.-C. (2010). potencial de colonizacion de hongos micorrizicos-arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de produccion. *Mex. Mic*, 165-176.
- Secretaria de agricultura y desarrollo rural. (2016). Una zanahoria para que veas mejor sus beneficios. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/una-zanahoriapara-que-veas-mejor-sus-beneficios>
- Saavedra G. et al (2021). Zanahoria (*Daucus carota* L., var. *sativus* Hoffm). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA / MINISTERIO DE AGRICULTURA. 72-119.
- Saia, S., Aissa, E., Luziatelli, F., Ruzzi, M., Colla, G., Ficca, A. G., ... & Roupheal, Y. (2020). Growthpromoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi differentially benefit tomato and corn depending upon the supplied form of phosphorus. *Mycorrhiza*, 30(1), 133-147.
- Tirador, M. 2011. Caracterización del contenido de nitratos y la composición nutricional en zanahoria (*Daucus carota* L.) Cultivada con diferentes dosis de fertilización. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina. 2da edición. pp 105-106.
- SIAP. (2020). *Avance de siembras y cosechas resumen por estado*. Recuperado el 15 de Julio de 2021, de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Wang, F., & Feng, G. (2021). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Interactions in the Rhizosphere. In *Rhizosphere Biology: Interactions Between Microbes and Plants* (pp. 217-235). Springer, Singapore.
- Xu, X. M., Jeffries, P., Pautasso, M. & Jeger, M. J. (2011). A numerical study of combined use of two bio-control agents with different biocontrol mechanisms in controlling foliar pathogens. *Phytopathology*, 101(9), 1032-1044. doi: 10.1094/PHYTO-10-10-0267.
- Yumbo Grefa, J. (2019). Evaluación de tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Chantenay en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

6. ANEXOS

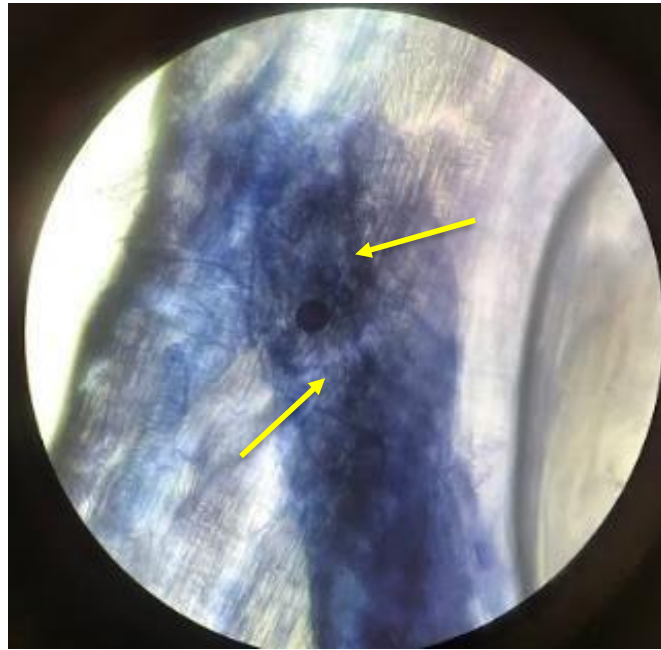


Figura 8. Raíz de zanahoria colonizada por HMA.



Figura 9. Sitio del experimento



Figura 10. Cultivo de zanahoria en pleno crecimiento



Figura 11. Determinación de variables morfológicas y de calidad en Zanahoria