

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA



Efecto de fertilización y microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y calidad de fruto en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.)

Por:

Oscar Rolando Valdez Ollervides

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila; México
Febrero 2026

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Efecto de fertilización y microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y calidad de fruto en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.)

Por:

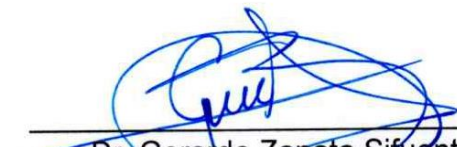
Oscar Rolando Valdez Ollervides

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por:


Dr. Gerardo Zapata Sifuentes
Presidente


Dr. Christian Silva Martínez
Vocal


Dr. Pablo Preciado Rangel
Vocal


Dra Alejandra Cabrera Rodríguez
Vocal suplente


MC. Rafael Avila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Efecto de fertilización y microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el desarrollo y calidad de fruto en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.)

Por:

Oscar Rolando Valdez Ollervides

TESIS

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por el Comité de Asesoría:


Dr. Gerardo Zapata Sifuentes
Asesor Principal


Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez
Coasesor


Dr. Pablo Preciado Rangel
Coasesor


Dr. Christian Silva Martínez
Coasesor


MC. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026

AGRADECIMIENTOS

Para tener una relación personal con nuestro Padre Eterno, **Dios**, debes aprender a conocerlo. Toda gloria y toda honra para El.

A mi Alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de poder realizar mis estudios de licenciatura e impartirme una educación de calidad.

A mi gran asesor Dr. Gerardo Zapata Sifuentes que me brindo conocimientos desde los primeros semestres de mi carrera, quien despertó en mí el amor a la investigación y con el cual trabaje en investigaciones de campo con resultados muy satisfactorios.

Al Dr. Arturo Reyes González quien me acompañó en la etapa de servicio social en el INIFAP en mi natal Matamoros, Coahuila, que resolvió todas las dudas que me surgieron a cualquier hora del día, me aportó experiencia en campo y el interés por la investigación.

A todos los docentes, profesores investigadores y personal administrativo que me acompañó desde el inicio de mi carrera profesional.

Mi respeto y admiración siempre a cada uno de los antes mencionados.

DEDICATORIAS

A mi amada madre Alicia, quien es la que me ha guiado y apoyado en todo momento, **a mis incondicionales hermanas Astrid y Ana** que siempre están de una u otra manera demostrando su amor y apoyo. Sin esta hermosa familia que me toco, no sería capaz de salir adelante de cada prueba que se me ha presentado.

A mis familiares paternos y maternos que fueron parte de este ciclo, mil gracias, un amor incondicional para cada uno de ustedes.

A todos mis amigos que fueron parte de este trayecto.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE IMAGENES	vi
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1.2. HIPÓTESIS	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El cultivo de melón	3
2.2. Importancia económica del cultivo de melón	4
2.3. Importancia nutracéutica del cultivo de melón	4
2.3.1. Contenido de fenoles totales	5
2.3.2. Contenido de flavonoides totales.....	5
2.3.3. Capacidad Antioxidante.....	5
2.4. Problemática de la producción de melón en campo abierto.....	6
2.5. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV)	6
2.5.1. Propiedades y potencial de los MPCV.....	6
2.5.2. El rol de los MPCV como biofertilizantes	7
2.6. Hongos micorrízicos arbúsculares (HMA)	7
2.6.1. Mecanismos de acción	7
2.6.2. Hongos micorrízicos del género <i>Glomús</i>	8
2.6.3. Hongos micorrízicos del género <i>Acauloespora</i>	8
2.7. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV).....	9
2.7.1. Mecanismos de acción	9
2.7.2. <i>Acinetobacter radioresistens</i>	9
2.7.3. <i>Sinorhizobium melitoti</i>	10

2.8.	Perspectivas de sostenibilidad agrícola basadas en los MPCV	10
2.8.1.	Sostenibilidad agrícola	10
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1.	Ubicación Del Experimento	13
3.2.	Establecimiento del cultivo	13
3.3.	Inoculación Del Cultivo	14
3.4.1.	Poda	16
3.4.2.	Fertilización.....	17
3.4.3.	Manejo De Plagas y Enfermedades	18
3.4.4.	Floración.....	18
3.4.5.	Cosecha.....	19
3.5.	Variables agronómicas evaluadas.....	20
3.5.1.	Altura de planta	20
3.5.2.	Biomasa de planta.....	20
3.6.	Variables de calidad comercial de fruto	20
3.6.1.	Peso de fruto.....	20
3.6.2.	Diámetro ecuatorial del fruto.....	20
3.6.3.	Diámetro polar del fruto	21
3.6.4.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	21
3.6.5.	Firmeza.....	21
3.6.6.	Preparación de extractos.....	21
3.6.7.	Contenido de fenoles totales	21
3.6.8.	Flavonoides.....	22
3.6.9.	Capacidad antioxidante.....	22
3.7.	Contenido de nutrientes.....	23
3.7.1.	Contenido de fósforo en suelo	23
3.7.2.	Contenido de nitrógeno en suelo.....	23
3.7.3.	Contenido de fósforo en planta	23
3.7.4.	Contenido de nitrógeno en planta.....	23
4.	RESULTADOS.....	25
4.1.	Variables Agronómicas.....	25
4.2.	Calidad comercial del fruto	26
4.3.	Calidad nutracéutica del fruto	27
4.3.1.	Fenoles	27

4.3.2.	Flavonoides.....	28
4.3.3.	Capacidad Antioxidante.....	29
4.4.	Contenido de nutrientes.....	30
4.4.1.	Contenido de fósforo en suelo	30
4.4.2.	Contenido de nitrógeno en suelo	31
4.4.3.	Contenido de fósforo en planta	32
4.4.4.	Contenido de nitrógeno en planta.....	33
5.	DISCUSIÓN	34
6.	CONCLUSIÓN.....	36
7.	LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Elaboración de camas meloneras, colocación de acolchado y cinta de riego.	14
Imagen 2. Activación de consorcio de hongos micorrízicos e inoculación de semillas.	15
Imagen 3. Manejo integrado de plagas.	16
Imagen 4. Equipo de fertilización.....	17
Imagen 5. Amarre y cuajado de segunda floración.....	18
Imagen 6. Muestras para análisis de laboratorio.	19
Imagen 7. Recolección de muestras de los diferentes tratamientos en el área experimental.	19

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de microorganismos promotores del crecimiento vegetal usados como inoculantes y dos dosis de fertilización en la altura de planta y biomasa del cultivo de melón.	25
Cuadro 2. Efecto de microorganismos promotores del crecimiento vegetal usados como inoculantes y dos dosis de fertilización en la calidad comercial del fruto de melón.....	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Efecto de MPCV sobre contenido de fenoles en el fruto de melón, b) Efecto de las dosis de fertilización sobre contenido de fenoles, c) Efecto interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de fenoles en el fruto de melón.	27
Figura 2. a) Efecto de MPCV sobre contenido de flavonoides en el fruto de melón, b) Efecto de las dosis de fertilización sobre contenido de flavonoides, c) Efecto interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de flavonoides en el fruto de melón.	28
Figura 3. a) Efecto de MPCV sobre contenido de capacidad antioxidante, b) Efecto de las dosis de fertilización en el contenido de C.A, c) Interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de C.A. en el fruto de melón.	29
Figura 4. a) Efecto de MPCV sobre contenido de P en suelo, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de P en suelo, c) Efecto de interacción de inoculantes y fertilización sobre contenido total de P en suelo.	30
Figura 5. a) Efecto de MPCV sobre contenido de N en suelo, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de N en suelo, c) Efecto interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido de N en suelo.	31
Figura 6. a) Efecto de MPCV sobre contenido de P en planta, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de P en planta, c) interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido total de P en planta de melón.	32
Figura 7. a) Efecto de MPCV sobre contenido de N en planta, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de N en planta, c) Efecto de interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido total de N en planta de melón.	33

RESUMEN

La Comarca Lagunera comprende municipios de los estados de Durango y Coahuila, está ubicada en el norte de México; es una región que, pese a sus condiciones adversas de un ecosistema semiárido se posiciona como una zona de importancia económica del sector agropecuario al ser la principal cuenca lechera del país. Aunque la producción agrícola está centrada en cultivos forrajeros, es de destacar la producción de cultivos de alto valor como el algodón, nogal, sandía y melón. Por lo anterior descrito, se estableció una parcela con el cultivo de melón utilizando un diseño experimental bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2, el factor A consistió en la inoculación con hongos micorrízicos arbúsculares (HMA) comerciales y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, *Acinetobacter radioresistens* y *Sinorhizobium meliloti*, mientras que el factor B correspondió a dos dosis de fertilización, al 100% y 85%; con la finalidad de observar la respuesta de variables agronómicas (altura y biomasa de planta), calidad comercial de fruto (peso de fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar, sólidos solubles totales y firmeza), calidad nutracéutica de fruto (fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante), contenido de nitrógeno y fósforo tanto en suelo como en planta. Los resultados obtenidos no mostraron diferencia significativa en las variables agronómicas con respecto a los microorganismos inoculantes, las dosis de fertilización y la interacción entre inoculante y dosis de fertilización. Con respecto a las variables de calidad comercial de fruto, solo se apreció diferencia significativa en la firmeza (kg cm^{-2}) al inocular con *A. radioresistens* incrementando en 34% con respecto al valor más bajo registrado correspondiendo a *S. meliloti*. Con respecto a la calidad nutracéutica, tanto el contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) al inocular con *A. radioresistens* con una dosis de fertilización al 85%. Por otro lado, el contenido de P en suelo es significativamente mayor al inocular con *S. meliloti* y una dosis de fertilización al 85%, mientras que el contenido de N en suelo es estadísticamente más alto al fertilizar con la dosis del 85% y con HMA como inoculantes. En cambio, el contenido de P en planta se incrementa empleando *A. radioresistens* y HMA a una dosis de fertilización del 85%, en cambio; no se apreciaron diferencias estadísticas para el contenido de N en planta. Con los hallazgos encontrados, se puede decir que la inoculación con microorganismos benéficos se mantiene el desarrollo del cultivo y la calidad comercial de fruto, pero se mejora la calidad nutricional del fruto, así

mismo; que se eficientiza la aplicación de P y N tanto en suelo como en planta, por lo que los microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden ser una alternativa para la disminución de fertilizantes sin comprometer la producción.

Palabras clave: Inoculación, Fenoles, Flavonoides, Capacidad antioxidante, Nutrientes

ABSTRACT

The Comarca Lagunera includes municipalities from the states of Durango and Coahuila, and is located in northern Mexico; it is a region that, despite the adverse conditions of a semi-arid ecosystem, stands out as an economically important area in the agricultural sector, being the country's main dairy basin. Although agricultural production is focused on forage crops, the production of high-value crops such as cotton, walnut, watermelon, and melon is also noteworthy. Based on the above, a plot was established with melon cultivation using a completely randomized block experimental design with a 2 x 2 factorial arrangement. Factor A consisted of inoculation with commercial arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth-promoting bacteria, *Acinetobacter radioresistens* and *Sinorhizobium meliloti*, while Factor B corresponded to two fertilization doses, 100% and 85%, with the aim of observing the response of agronomic variables (height and plant biomass), commercial fruit quality (fruit weight, equatorial diameter, polar diameter, total soluble solids, and firmness), nutraceutical quality of the fruit (total phenols, flavonoids, and antioxidant capacity), and nitrogen and phosphorus content in both soil and plant. The results obtained showed no significant difference in agronomic variables regarding the inoculated microorganisms, fertilization doses, and the interaction between inoculant and fertilization dose. With respect to commercial fruit quality variables, a significant difference was only observed in firmness (kg cm⁻²) when inoculated with *A. radioresistens*, showing an increase of 34% compared to the lowest value recorded for *S. meliloti*. Regarding nutraceutical quality, the content of total phenols, flavonoids, and antioxidant capacity showed a statistically significant difference ($p < 0.05$) when inoculated with *A. radioresistens* with a fertilization rate of 85%. On the other hand, soil phosphorus (P) content is significantly higher when inoculated with *S. meliloti* with an 85% fertilization dose, while soil nitrogen (N) content is statistically higher when fertilized at the 85% dose and using HMA as inoculants. Conversely, plant P content increases when using *A. radioresistens* and HMA at an 85% fertilization dose; however, no statistically significant differences were observed for plant N content. Based on these findings, it can be concluded that inoculation with beneficial microorganisms maintains crop development and commercial fruit quality while improving fruit nutritional quality. Furthermore, the application of P and N is made more efficient both in soil and in plants, indicating that plant

growth-promoting microorganisms can be an alternative to reduce fertilizer use without compromising production.

Keywords: Inoculation, Phenols, Flavonoids, Antioxidant capacity, Nutrients

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de melón posee una elevada relevancia económica y social en México, atribuida a la extensión de la superficie sembrada, los altos volúmenes de producción y su papel como generador de empleo e ingresos para los productores, además de contribuir a la captación de grandes ingresos económicos para el país. La superficie cultivada de melón en México es de aproximadamente 19 104 ha anuales, con una producción cercana a 591 574 t (SADER, 2021).

La Comarca Lagunera concentra aproximadamente el 25 % de la producción nacional de melón, lo que la posiciona como la principal región productora del país; sin embargo, a pesar de su relevancia, no se dispone de una diversidad de estudios que documenten la situación actual para su producción, nutrición, manejo de plagas y enfermedades y sobre la situación socioeconómica o para resolver problemas que impliquen la alza en los costos a la hora de la producción del cultivo (Espinoza, 2005).

El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos en la agricultura contribuye a la deterioración del suelo, a elevar los costos de la producción y a su vez a la contaminación de cuerpos de agua. La materia orgánica constituye uno de los principales factores para sostener la productividad del suelo, ya que influye de manera directa sobre su fertilidad. Sin embargo, la explotación del recurso suelo con sintéticos químicos afecta a la misma. En este sentido la disminución de fertilizantes y pesticidas sintéticos a través de la aparición de nuevas tecnologías promueve a una producción agrícola más sostenible (Trinidad *et al.*, 2016).

Con la creciente demanda de alimentos se han llevado a cabo nuevas investigaciones reduciendo la aplicación de fertilizantes de síntesis química por el uso de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) para explorar el uso potencial de estas bacterias como biofertilizantes para una producción agrícola más inteligente y sostenible. Además, se pretende conocer la efectividad de las PGPR basadas en condiciones de campo reales ya que en experimentos controlados tienen éxito (Alzate Zuluaga *et al.*, 2024).

1.1. OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto de dos rizobacterias promotoras del crecimiento y un consorcio de hongos micorrízicos arbúsculares en interacción con dos diferentes dosis de fertilización sobre el desarrollo del cultivo de melón, calidad de comercial y nutracéutica del fruto de y la disponibilidad de fósforo y nitrógeno.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los MPCV sobre la productividad del cultivo de melón.
- Medir la calidad nutracéutica en frutos de melón.
- Determinar el nivel de estrés que pueden resistir las plántulas de melón con la inoculación de MPCV.

1.2. HIPÓTESIS

La inoculación del cultivo del melón con microorganismos promotores de crecimiento vegetal mejora el desarrollo vegetativo, la calidad de fruto y disponibilidad de nutrientes en el suelo bajo condiciones de disminución de fertilización.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de melón

El cultivo de melón posee una elevada importancia económica en México, tanto por su volumen de producción como por la cantidad de empleos que genera y el impacto económico que produce en las comunidades rurales. En el país se cultivan aproximadamente 19,076 hectáreas de melón, con una producción promedio anual de 543,651 toneladas (SIAP, 2017).

Cada hectárea demanda cerca de 100 jornales durante 4 meses para actividades de siembra, deshierbe, nutrición, monitoreos y cosecha durante el ciclo de producción, sin considerar las actividades posteriores de transporte, selección y empaque. Esta elevada necesidad de mano de obra convierte al melón en una fuente relevante de ingresos para numerosas familias dedicadas al sector agrícola (Espinoza, Arellano *et al.* 2019).

La Comarca Lagunera se ha posicionado como la zona líder en la producción de melón dentro del país. Solo en el año 2020 se establecieron 4 565 hectáreas destinadas a este cultivo, con un rendimiento total de 141 202 toneladas, equivalente a cerca del 25 % de la producción nacional. Esta relevancia productiva se atribuye, en gran medida, a las condiciones edafoclimáticas de la región, caracterizadas por suelos franco-arcillosos bien drenados y elevados niveles de radiación solar, factores que permiten un óptimo desarrollo del cultivo bajo esquemas de riego adecuados (Espinoza, Arellano *et al.*, 2023).

En este sentido, el melón no solo constituye un recurso agrícola de importancia local, sino también un elemento clave en las cadenas de exportación mexicanas. Según investigaciones recientes, comprender su comportamiento en regiones como la Comarca Lagunera permite diseñar estrategias de manejo, por ejemplo, adicionar el uso de un consorcio de hongos micorrízicos, bacterias promotoras de crecimiento vegetal y diferentes dosis de fertilización para encontrar y optimizar la eficiencia productiva y asegurar la rentabilidad para los agricultores (Miceli *et al.*, 2023).

2.2. Importancia económica del cultivo de melón

La Comarca Lagunera se destaca por ser la principal zona productora de melón en México durante diferentes épocas del año, las condiciones climáticas y los suelos presentes en esta región favorecen al cultivo. Se registraron 4565 ha cultivadas en todo México en los últimos años con una producción anual de 591,584 toneladas, la región de la comarca lagunera aportó 4 566 hectáreas con una producción total de 165 662 toneladas, lo que atribuye a un 28% de la producción de melón en México, asegurando ser la zona melonera más grande del país (Espinoza, Arellano *et al.*, 2023).

Las fechas de siembra varían según la región: en el sur se siembra entre diciembre y febrero, mientras que, en el norte para evitar saturación del mercado, se han adelantado las siembras a diciembre utilizando micro túneles. El ciclo tardío, con siembras en julio, suele ofrecer mejores precios, aunque con mayores costos y riesgos de pérdida. La cosecha se realiza generalmente entre 90 y 115 días después de la siembra, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas (Espinoza, Arellano *et al.*, 2019).

2.3. Importancia nutraceutica del cultivo de melón

Las frutas son de gran importancia en la dieta humana debido a su contenido en fitoquímicos, antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra dietética.

Las variaciones en el contenido de compuestos nutraceuticos entre distintas especies podrían estar asociadas a diferencias de origen genético. Es importante señalar que las prácticas de corte y manipulación del material vegetal pueden inducir condiciones de estrés en determinadas especies, modificando su fisiología y activando mecanismos que favorecen la acumulación de compuestos fenólicos. Esto, a su vez, puede contribuir a generar variaciones en los niveles de dichos antioxidantes (Zapata, Sifuentes *et al.*, 2025).

2.3.1. Contenido de fenoles totales

Las cucurbitáceas presentan metabolitos secundarios derivados de compuestos fenólicos en distintas proporciones. Estos metabolitos secundarios contribuyen a disminuir el riesgo de desarrollar diversos problemas de salud, destacando el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes, entre otros. Diversos estudios señalan que en la pulpa de melón se encuentra una importante concentración de compuestos fenólicos totales (Aragón *et al.*, 2024).

2.3.2. Contenido de flavonoides totales

Los flavonoides constituyen un grupo de compuestos fenólicos con reconocida actividad antioxidante, presentes de forma natural en diversas frutas y hortalizas. Durante las últimas dos décadas, los estudios epidemiológicos han señalado una relación positiva entre el consumo de alimentos ricos en flavonoides para la disminución de enfermedades de carácter degenerativo (Palomeque *et al.*, 2020).

Aunque ciertamente es difícil que encontremos concentraciones mayores de flavonoides sobre el resto de los compuestos fenólicos lo cual podría explicarse por el hecho de que ciertos flavonoides están presentes en forma de proantocianidinas (taninos condensados), como ocurre en diversos frutos (Cortés *et al.*, 2018).

2.3.3. Capacidad Antioxidante

Los antioxidantes son moléculas capaces de neutralizar radicales libres, estos se generan como parte del proceso oxidativo natural del organismo y pueden desencadenar diversos efectos perjudiciales en el ser humano, ahí la importancia de una correcta alimentación.

Si bien los compuestos fenólicos y los flavonoides contribuyen de manera importante a la actividad antioxidante de frutos y verduras, ésta no depende exclusivamente de su presencia, sino también de otros metabolitos como los carotenoides y la vitamina C (Navarro, 2024).

Además, gran parte de frutas y verduras no se consumen en estado fresco, por lo que la temperatura podría modificar su capacidad antioxidante al afectar los niveles de ciertos

nutracéuticos. Debido a la falta de información disponible sobre este aspecto, resulta pertinente investigar el impacto de la temperatura en el contenido de la calidad nutraceútica de las especies de interés (Cortés *et al.*, 2018).

2.4. Problemática de la producción de melón en campo abierto

En Coahuila, especialmente en la Comarca Lagunera la producción de melón enfrenta un paquete de desafíos que se interrelacionan. La falta de agua es uno de los mayores desafíos, la disminución de agua en las presas y el riego ineficiente o mal controlado incrementa los problemas como: estrés hídrico en las plantas, favorecer a enfermedades fúngicas y el desperdicio de recursos hídricos valiosos. Para el tema de fertilización, es común que los productores lleven un plan de fertilización sin análisis de suelos o plan técnico y que esta deriva a un exceso de nutrientes, deficiencias y a afectar el crecimiento y calidad del fruto; esto se traduce a mayores costos por insumos, menor margen de ganancia y a una potencial degradación del suelo. La reducción de esta actividad agrícola por pérdidas en producción impacta en la economía local, reduce empleos, reduce ingresos y obliga a buscar fuentes de empleo fuera del campo (Liu *et al.*, 2025).

2.5. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV)

2.5.1. Propiedades y potencial de los MPCV

Diversas investigaciones han demostrado que la asociación simbiótica genera múltiples beneficios para las plantas. Entre ellos se encuentra el aumento de la superficie efectiva de absorción de agua y nutrimentos, resultado tanto del desarrollo de los pelos radiculares como de la cobertura aportada por el hongo. Asimismo, se prolonga la vida funcional de las raíces absorbentes y se optimiza la captación y acumulación de iones, particularmente en el caso del fósforo. Esta simbiosis también favorece la solubilización de minerales presentes en el suelo, facilitando su disponibilidad para la planta. Además, contribuye a elevar la capacidad fotosintética y, en consecuencia, la producción de biomasa. Finalmente, esta asociación ayuda a reducir el estrés derivado de factores ambientales adversos. Gracias a esta diversidad de asociaciones se ha demostrado que el uso de microorganismos en la agricultura tiende a ser un gran beneficio (Cano, 2011).

2.5.2. El rol de los MPCV como biofertilizantes

Prever los efectos de las interacciones entre las plantas y los microorganismos benéficos del suelo, así como entre distintas especies microbianas, resulta complejo. Sin embargo, se reconoce que las comunidades microbianas vinculadas al sistema radical desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de estrategias agrícolas sostenibles. Es importante mencionar que las plantas pueden mostrar respuestas variables según la combinación específica de microorganismos utilizada y las condiciones ambientales, obteniendo mayormente resultados favorables para las plantas debido a estas interacciones benéficas durante el ciclo productivo o incluso en los ciclos en que se descansa el suelo (Cano, 2011).

2.6. Hongos micorrízicos arbúsculares (HMA)

2.6.1. Mecanismos de acción

Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y ciertos hongos presentes en el suelo. Esta relación se remonta al Devónico temprano y se considera clave para la colonización terrestre de las plantas. Se estima que más del 80 % de las especies vegetales forman algún tipo de micorriza y se encuentran en ecosistemas de todo el mundo, desde regiones polares hasta zonas áridas (Mendoza, Churape *et al.*, 2021).

Se ha encontrado que la presencia de HMA en la agricultura donde existe dependencia micorrízica es beneficiosa ya que ésta aumenta la productividad del cultivo. La captura y transferencia de nutrientes a la planta son algunas de las ventajas que las caracterizan y ayudan a que el suelo sea productivo (Saucedo *et al.*, 2022).

La creciente demanda de alimentos ha provocado la transformación de suelos naturales en áreas destinadas a la agricultura, lo que inevitablemente repercute en la biodiversidad presente en estos ecosistemas. No obstante, investigaciones han demostrado que los microorganismos, como los HMA, poseen la capacidad de adaptarse y persistir ante las modificaciones en la dinámica del suelo, e incluso ciertas especies dominantes como las utilizadas en esta investigación (*Glomús* y *Acauloespora*), pueden mantenerse tras varios años de uso agrícola (Cervantes, Gámez *et al.*, 2021).

En este contexto, las plantas voluntarias en el periodo intersembra (Rastrojos, malezas) desempeñan un papel relevante al favorecer la conservación de inóculos efectivos entre un ciclo agrícola y otro. Por ello, resulta fundamental promover prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, que permitan aprovechar los beneficios que los HMA ofrecen a las plantas hospederas, contribuyendo tanto al incremento del rendimiento como a la reducción de pérdidas ocasionadas por enfermedades (Aperlo *et al.*, 2023).

2.6.2. Hongos micorrízicos del género *Glomús*

Estos organismos se caracterizan por poseer ciclos de vida cortos, alta velocidad y abundancia de esporulación, elevada producción de micelio intraradical y tolerancia a la perturbación. Generalmente, pertenecen a la familia Glomeraceae, particularmente al género *Glomús*, el cual tiende a dominar en suelos con baja diversidad microbiana (Velasco, 2022).

El género *Glomús* brinda como función principal mejorar la absorción de agua y nutrientes minerales, actuando como una extensión funcional del sistema radical. Gracias a la elevada capacidad exploratoria de sus hifas, estos hongos incrementan la disponibilidad de nutrientes o de baja movilidad en el suelo (da Silva *et al.*, 2022).

2.6.3. Hongos micorrízicos del género *Acauloespora*

Los hongos micorrízicos arbúsculares del género *Acauloespora* pertenecen al phylum *Glomeromycota* y establecen una simbiosis mutualista con las raíces de numerosas plantas, donde forman arbúsculos que facilitan el intercambio de nutrientes. A través de su red de hifas extrarradicales, mejoran principalmente la absorción de fósforo, así como de nitrógeno mineral y micronutrientes. Aunque no fijan nitrógeno atmosférico, incrementan la eficiencia nutrimental y la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés abiótico, por lo que son considerados importantes aliados en sistemas agrícolas sostenibles (Geue & Hock, 2004).

Las especies de este género son capaces de establecer micorrizas caracterizadas por la presencia de vesículas y arbúsculos lobulados (Begum *et al.*, 2019).

Este género se encuentra con menor frecuencia en regiones tropicales y muestra una mayor afinidad por suelos con pH bajo (Cervantes, Gámez *et al.*, 2021).

2.7. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV)

Las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas contribuyen al crecimiento vegetal mediante diversos mecanismos, entre los cuales destaca la fijación biológica de nitrógeno. Asimismo, la síntesis de fitohormonas particularmente auxinas como el ácido indolacético estimula el desarrollo del sistema radical y la formación de pelos absorbentes, lo que incrementa la captación de agua y minerales del suelo y, en consecuencia, favorece un crecimiento más eficiente de la planta. Estas bacterias benéficas presentes en el suelo y de vida libre se conocen como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas (PGPR, por sus siglas en inglés: *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) (Ochoa *et al.*, 2010).

La utilización de microorganismos benéficos en la agricultura, particularmente bacterias, constituye una estrategia que contribuye al mejoramiento de la producción de cultivos agrícolas, debido a que pueden desempeñar funciones como promotores del crecimiento, biofertilizantes y agentes antagonistas frente a patógenos (Zapata, Sifuentes *et al.*, 2025).

2.7.1. Mecanismos de acción

Existen mecanismos directos e indirectos para la promoción del crecimiento vegetal. Los mecanismos directos se relacionan con la producción de fitohormonas de tipo auxinas y giberelinas o la regulación de la producción de hormonas por parte de la planta. Así mismo pueden afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos. Es el caso de la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes como el fósforo. Indirectamente las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) pueden contribuir mediante la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos, el control biológico de enfermedades, la producción de antibióticos y de sideróforos (Camelo *et al.*, 2011).

2.7.2. *Acinetobacter radioresistens*

Las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas contribuyen al crecimiento vegetal mediante diversos mecanismos, entre los cuales destaca la fijación biológica de

nitrógeno. Asimismo, la síntesis de fitohormonas particularmente auxinas como el ácido indolacético estimula el desarrollo del sistema radical y la formación de pelos absorbentes, lo que incrementa la captación de agua y minerales del suelo y, en consecuencia, favorece un crecimiento más eficiente de la planta. Estas bacterias benéficas presentes en el suelo y de vida libre se conocen como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas (Ochoa *et al.*, 2010).

2.7.3. *Sinorhizobium meliloti*

Sinorhizobium meliloti se considera un microorganismo bacteriano del grupo *Alphaproteobacteria*, participa en la reducción biológica del nitrógeno molecular durante la simbiosis y contribuye de manera significativa al aporte de nitrógeno asimilable para la planta. Para establecer esta asociación, los rizobios necesitan primero sobrevivir en el suelo y posteriormente colonizar las raíces, lo cual implica enfrentar diversas condiciones de estrés propias del ambiente edáfico, las cuales pueden presentar variaciones temporalmente y diferir entre sitios. El término “respuesta al estrés bacteriano” engloba el conjunto de ajustes en la expresión génica que permiten a la bacteria adaptarse y sobreponerse a estos factores adversos. Las bacterias han evolucionado distintos mecanismos para adaptarse a las variaciones del entorno y son capaces de modificar su comportamiento fisiológico frente a múltiples condiciones de crecimiento, lo que se considera una estrategia para maximizar su supervivencia bajo situaciones de estrés, favorecer al crecimiento de las plantas y lograr el éxito en la relación bacteria/planta (Hagberg *et al.*, 2022).

2.8. Perspectivas de sostenibilidad agrícola basadas en los MPCV

2.8.1. Sostenibilidad agrícola

Durante varias décadas, los fertilizantes de origen químico fueron considerados una estrategia eficaz para incrementar la productividad agrícola. No obstante, en la actualidad se reconoce que su uso indiscriminado genera impactos adversos en el medio ambiente y en la salud humana, además de implicar altos costos de producción. Ante este panorama, resulta indispensable desarrollar y promover alternativas sostenibles para la nutrición de los cultivos

o, al menos, estrategias que permitan disminuir la dependencia de insumos químicos(Mario *et al.*, 2010).

En este contexto, la biofertilización ha emergido como una opción viable, motivo por el cual diversas instituciones de investigación a nivel mundial han orientado sus esfuerzos hacia su estudio y aplicación (Bonilla Buitrago *et al.*, 2021).

Algunos de los beneficios que se pueden obtener gracias al uso de los MPCV es que se lograría un aumento en los contenidos de ácidos orgánicos, enzimas, vitaminas y diversos metabolitos secundarios que influyen directamente en el desarrollo vegetal y en el rendimiento, por otra parte se tendría beneficio sobre los mecanismos indirectos del desarrollo de la planta, que están relacionados con la protección de las plantas frente a estreses abióticos y bióticos, destacando la inducción de tolerancia a condiciones ambientales adversas y la defensa frente a fitopatógenos (Chávez-Díaz *et al.*, 2020).

Una de las tantas opciones de bioinsúmos que se pueden aplicar para el equilibrio ambiental son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son un conjunto de bacterias asociadas a la rizosfera que influyen positivamente en el desarrollo de las plantas. Su acción se manifiesta a través de la mejora en la disponibilidad y asimilación de nutrientes minerales y otros compuestos, así como mediante la producción o modulación de fitohormonas clave para el crecimiento vegetal. Adicionalmente, estas bacterias pueden ejercer efectos antagonistas sobre microorganismos fitopatógenos, contribuyendo a la protección de las plantas(Muñoz, 2019).

Entre los microorganismos que promueven el crecimiento vegetal a través de mecanismos directos e indirectos sobresalen los hongos micorrízicos arbúsculares, los cuales establecen relaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Esta asociación favorece una absorción más eficiente de nutrientes, mejora la estructura del suelo y contribuye al aumento de la productividad de los cultivos. No obstante, prácticas inadecuadas de manejo del suelo pueden reducir su biodiversidad y la abundancia de estos microorganismos, incluidos aquellos con capacidad de biocontrol frente a fitopatógenos del suelo como *Pythium* y *Fusarium* (Riera, 2005).

El uso de microorganismos benéficos es una herramienta eficaz para promover una agricultura sostenible. Estos agentes biológicos han demostrado ser efectivos en el control de plagas mediante diversos mecanismos de acción, los microorganismos benéficos desempeñan un papel fundamental al actuar como agentes de biocontrol, disminuyendo la incidencia de enfermedades en los cultivos. De igual manera, contribuyen a la mejora de la calidad del suelo y participan en los procesos de control biológico, favoreciendo sistemas agrícolas más sanos y sostenibles (Santana, 2025).

La aplicación de inoculantes microbianos representa numerosos beneficios para el suelo y las interacciones de la biota presente, favoreciendo la homeostasis y en consecuencia la fertilidad del recurso suelo, la captación de diversos nutrientes, minerales y agua por las plantas, mejorando así su nivel nutricional con ventajas ambientales y económicas. Lo anterior, representa una alternativa sustentable al uso de agroquímicos convencionales en la agricultura, aumentando la producción y reduciendo los insumos (fertilizantes, plaguicidas, fungicidas, pesticidas), lo que disminuye la degradación edáfica. De esta manera, el uso de inoculantes microbianos, constituye una alternativa sostenible para contribuir a la seguridad alimentaria, por lo que es necesario reforzar el entendimiento de los procesos e interacciones llevados a cabo en el suelo y en la planta para formular bio productos eficaces desde el punto de vista productivo, ambiental, social y económico (Valenzuela, 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Del Experimento

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) en el campo experimental. La universidad se ubica en carretera Santa Fe km 4, Torreón, Coahuila, México. Esta región se encuentra en los 25.553° latitud norte y 103.374° longitud oeste a 1120° msnm.

3.1.1. Clima y Precipitación

El clima de la región es seco desértico y se caracteriza por una temperatura media anual de 20.9 °C, veranos cálidos, con promedio de temperaturas máximas de 30.2 °C (± 1.9), mínimas de 10.5 °C (± 3) y precipitación media anual de 287 (± 98) mm.

3.1.2. Edafología

El suelo en la región de estudio fue de textura franco-arcillosa, pH alcalino, no salino, bajo en materia orgánica, bajo en fósforo y nitrógeno disponible. Debido a la historia que la Comarca Lagunera tiene con la hidrología y la irrigación nos encontramos con suelos con un alto contenido de carbonato de calcio y sales, en base al conocimiento de los productores hoy en día han identificado cinco clases de tierra como Blanca, Arenosa, Arenales, Prietas, y Negras.

3.2. Establecimiento del cultivo

La preparación del terreno consistió en labores de subsuelo, barbecho, rastra, preparación de camas a 1.5 m de distancia y colocación de acolchado y cinta de riego.

Para el riego por goteo (RG) se utilizó una cinta de riego IRRITEC-TAPE (Irritec México®) calibre 6 mil, diámetro interior de 16 mm, con emisores a 0.2 m de separación y un gasto de 1.2 L h⁻¹ por emisor. El RG opero a una presión de 8 PSI con frecuencia de riego de cada tercer día, el tiempo de riego promedio fue de 2 horas bajo las demandas del cultivo y la evapotranspiración.

La siembra se realizó de forma manual el 23 de Julio de 2024 con una distancia entre plantas de 0.25 m y 1.5 m de separación entre surcos con una densidad de población de 12 mil plantas por hectárea.



Imagen 1. Elaboración de camas meloneras, colocación de acolchado y cinta de riego.

La variedad de melón utilizada fue el híbrido Expedición (Harris Moran®), variedad de ciclo tardío, resistente a fusarium, planta media vigorosa y buena sanidad de planta y fruto.

3.3. Inoculación Del Cultivo

Para la inoculación de las semillas con las bacterias primero se lavaron y desinfectaron las semillas con hipoclorito al 5%. Después se realizaron lavados con agua destilada para eliminar residuos de hipoclorito. Se prosiguió con la inoculación de la semilla por el método de inmersión en solución acuosa durante 24 horas en vasos precipitados. Se utilizó una concentración ajustada de 1×10^8 UFC mL^{-1} en PBS al 0.5%, para después de las 24 horas realizar la siembra directa. Ambas cepas fueron donadas por el laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad de Juárez del Estado de Durango (UJED).

La inoculación del cultivo con Hongos Micorrízicos se hizo a los 15 días después de la siembra que fue el momento donde aparecieron las primeras hojas verdaderas, se preparó en

el laboratorio de Agroecología una dosis de 4 kg de Hongos micorrízicos y 0.6 kg de silicio por hectárea, esta se dejó reposar 24 horas en 5 litros de agua para posteriormente inyectar la solución en los últimos 90 minutos de la lámina de riego en el sistema de riego por goteo diluido en 700 litros de agua. Se hizo una segunda inoculación a los 45 días después de la siembra cuando la floración fue homogénea en el área experimental.

Las actividades e inoculaciones se realizaron en el laboratorio de Agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL).



Imagen 2. Activación de consorcio de hongos micorrízicos e inoculación de semillas.

3.4. Labores agronómicas del cultivo

Dentro del manejo del cultivo se realizaron prácticas de deshierbe, monitoreo y control de plagas y enfermedades para garantizar plantas sanas el mayor tiempo posible y obtener un mejor desarrollo de estas.



Imagen 3. Manejo integrado de plagas.

3.4.1. Poda

Desde los primeros 10 días después de la siembra se realizaron acciones de deshierbe alrededor de la planta con la mano y en los caminos entre surco y surco se deshierbo con azadón, siempre pensando en evitar el establecimiento de una plaga no deseada en una hierba que compita por nutrientes con la planta de interés experimental.

Podas para controlar el crecimiento de la planta y mejorar la ventilación no se realizaron ya que en el ciclo de melón tardío la planta no logra un desarrollo vegetativo igual o similar que en el ciclo de primavera.

3.4.2. Fertilización

La nutrición de las plantas de melón que se tomó como 100% fue 210-100-140; N-P2 O5-K2 O, respectivamente.

Para satisfacer las necesidades nutrimentales de las plantas se tomó en cuenta el aporte nutrimental del suelo a través de los análisis de suelo y nuestra solución nutritiva al 100% comparado con una solución al 85%, todo esto en un lapso de 110 días después de la siembra, que duro el experimento; donde la técnica de aplicación fue a través del sistema de riego por goteo, con ayuda de un Venturi de la marca Irritec México® en el cual se inyectaba la solución nutritiva en la última hora de riego.

Se hicieron aplicaciones según las necesidades nutrimentales y la etapa fenológica del cultivo, siendo base Nitrógeno y fósforo a los 21 días después de la siembra (dds), se fertilizó a estos días para garantizar que las plantas que se sembraron también aprovecharan la solución nutritiva, se repitió esta aplicación en el día 34 después de que aparecieron las primeras flores en el cultivo.

Para el llenado y cuaje del fruto se realizaron dos aplicaciones de Potasio a los 57 dds después de que se realizó el primer conteo y se sacó la media de flores, teniendo una floración homogénea en toda la parcela experimental y a los 69 dds se repitió cuando el cultivo alcanzo su máximo potencial.



Imagen 4. Equipo de fertilización

3.4.3. Manejo De Plagas y Enfermedades

Una de las principales características de los cultivos de melón en ciclo tardío es la alta incidencia de plagas y enfermedades durante toda la etapa del cultivo. Son meses que alcanzamos las mayores temperaturas y que también comprende los meses de precipitación en la región, lo que provoca los cambios bruscos de temperatura y un ambiente favorable para la presencia de plagas y enfermedades.

Se realizaron monitoreos de plagas y enfermedades desde los 15 días de establecido el cultivo con una frecuencia de una vez por semana y recurrimos al manejo integrado de plagas, se utilizaron trampas de pegamento, trampas de feromonas, eliminación directa y el uso de químicos solamente cuando alcanzamos el umbral económico y suspendiendo aplicaciones en la etapa fenológica de floración para no perjudicar polinizadores.

3.4.4. Floración

Las primeras flores en el cultivo se presenciaron a los 33 días siendo esta levemente una floración prematura, a los 40 días se realizó un conteo de flores cuajadas en 1m² obteniendo valores de cuatro y cinco flores con fruto por planta, siendo tres en promedio según la literatura.



Imagen 5. Amarre y cuajado de segunda floración.

3.4.5. Cosecha

La calienta del cultivo, etapa que es donde se cortan los primeros frutos maduros se logró a los 63 días después de la siembra, la variedad de melón sembrada es de 90 días para cosecha, pero los calores intensos y el estrés con el que se desarrolla el cultivo favorecen para una cosecha prematura o temprana.



Imagen 6. Muestras para análisis de laboratorio.



Imagen 7. Recolección de muestras de los diferentes tratamientos en el área experimental.

Un total de 12 cortes se dieron para este ciclo incluida la caliente que no llega a tener valor comercial al ser una mínima cantidad de kg.

3.5. Variables agronómicas evaluadas

3.5.1. Altura de planta

Se realizó la medición con ayuda de un flexómetro Stanley de 3.5 m, registrando la unidad de altura en cm, se procedió a medir desde la base del tallo hasta el ápice del tallo principal. Esta medición se realizó en la fase de floración.

3.5.2. Biomasa de planta

Para la medición de esta variable se utilizó una balanza granataria metálico de la marca Ohaus. Para esta medición se ocupó deshidratar la planta y los datos obtenidos se midieron en gramos (gr).

3.6. Variables de calidad comercial de fruto

3.6.1. Peso de fruto

Para el peso del fruto se utilizó una balanza granataria metálica de la marca Ohaus, esta medición fue dividida en tratamientos, en los cuales se estimó un promedio de peso para cada tratamiento, tomando en cuenta frutos de diferentes repeticiones del tratamiento.

Se peso la producción obtenida por unidad de área (kg/m^2 o toneladas/ha) que en este caso fue de 2500 m^2 . Para obtener el rendimiento promedio dividimos la producción total entre el área sembrada.

3.6.2. Diámetro ecuatorial del fruto

El diámetro ecuatorial se tomó de manera horizontal del fruto, esta medición se realizó con un vernier de la marca Truper, las mediciones las expresamos en centímetros (cm).

3.6.3. Diámetro polar del fruto

Para el diámetro polar del fruto la medición se hizo desde el desprendimiento del pedúnculo hasta el siguiente extremo del fruto. De igual forma con un vernier de la marca Truper y se expresaron las mediciones en centímetros (cm).

3.6.4. Sólidos solubles totales (°Brix)

Para realizar la medida de esta variable tomamos muestras de cinco gramos de la pulpa del melón para después colocar unas gotas del jugo de esta en un refractómetro marca Hanna Instruments. Con esta práctica estimamos el contenido de azúcares en el fruto.

3.6.5. Firmeza

Estas medidas se tomaron con un penetrómetro de embolo de 8 mm de la marca Extech el cual expresaba en Kg/cm². Para la medición se tenía que colocar en melón en una superficie plana y rígida.

3.6.6. Preparación de extractos

Para la determinación del contenido de compuestos fitoquímicos se preparó una muestra compuesta a partir de tres plantas por tratamiento, las cuales fueron trituradas y homogeneizadas. De la mezcla obtenida, se pesaron 2 g y se colocaron en tubos de vidrio con tapa roscada, a los que se añadieron 10 ml de etanol al 80%.

Las muestras se mantuvieron en agitación durante 24 h en un agitador orbital (Remi RS–24BL, Jayanti Scientific) a 70 rpm. Posteriormente, los extractos se centrifugaron a 3000 rpm durante 5 min, separándose la fase sólida. Este procedimiento se llevó a cabo por triplicado para cada tratamiento.

3.6.7. Contenido de fenoles totales

La cuantificación de compuestos fenólicos se llevó a cabo mediante el método de Folin–Ciocalteu, con algunas modificaciones (Singleton *et al.*, 1999). Para ello, se mezclaron 300 µL de la muestra con 1080 µL de agua destilada y 120 µL del reactivo de Folin–Ciocalteu

(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.). La mezcla se homogenizó mediante agitación en un vórtex (SI-0236, Scientific Industries) durante 10 s y se dejó reposar por 30 minutos para permitir el desarrollo de la reacción. Posteriormente, se añadieron 0.9 ml de una solución de Na_2CO_3 al 7.5%, seguida de una agitación de 30 minutos y un periodo de reposo adicional de 10 min a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV/VIS (VE-5100UV). El contenido total de fenoles se determinó a partir de una curva de calibración con ácido gálico y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg AGE 100^{-1} FW).

3.6.8. Flavonoides

La determinación del contenido total de flavonoides se realizó utilizando el método descrito por Lamaison y Carnet (1990). Para ello, se preparó una mezcla con 1250 μL de agua destilada, 250 μL de la muestra y 75 μL de una solución de NaNO_2 al 5%. Tras un periodo de reposo de 5 min, se añadieron 150 μL de una solución acuosa de AlCl_3 al 10% y se dejó reaccionar durante 6 min. Posteriormente, se incorporaron 150 μL de NaOH 1 M y 250 μL de agua destilada, homogeneizando la mezcla mediante agitación en vórtex durante 30 s. La absorbancia se midió a 510 nm en un espectrofotómetro UV/VIS (VE-5100UV). El contenido de flavonoides se cuantificó a partir de una curva de calibración elaborada con quercetina disuelta en etanol absoluto, expresando los resultados como mg de equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco (mg QE 100^{-1} FW).

3.6.9. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se evaluó mediante el ensayo in vitro DPPH $^{++}$ descrito por Brand-Williams *et al.* (1995), utilizando una solución etanólica de DPPH $^{++}$ a una concentración de 0.025 mg mL^{-1} (Aldrich). Para la reacción, se mezclaron 50 μL del extracto con 1950 μL de la solución de DPPH y se homogenizaron en vórtex durante 10 s, dejándose reaccionar en reposo por 25 min. Posteriormente, la absorbancia se registró a 517 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como equivalentes de μM Trolox por 100 g de peso fresco (μM Trolox 100 g^{-1} FW).

3.7. Contenido de nutrientes

3.7.1. Contenido de fósforo en suelo

Para la obtención de esta variable se realizó una muestra compuesta de cuatro puntos en zigzag por unidad experimental por tratamiento, de al menos 1000 gr, para posteriormente ponerla a secar y llevar a cabo los procedimientos de laboratorio. Se utilizó el método de determinación de P extractable en suelos neutros y alcalinos por el método de Olsen, (Olsen *et al.*, 1954).

3.7.2. Contenido de nitrógeno en suelo

Para obtener esta variable se realizó un muestreo compuesto de cuatro puntos en zigzag por unidad experimental en cada tratamiento, de al menos 500 gr, para posteriormente ponerla a secar y llevar a cabo los procedimientos de laboratorio. Se utilizó el método de N total por el método de Kendall (Kendall, 1883), estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL).

3.7.3. Contenido de fósforo en planta

Se tomaron cinco plantas al azar por unidad experimental y se pusieron a secar, posteriormente se molieron en un molino. Para la determinación de fósforo en planta se utilizó el método de solubilización de P por digestión con ácido perclórico de 70 a 72% y ácido nítrico al 65%, para llevar a cabo este método se tomaron 0.50 gr de cada tratamiento de material vegetal previamente secado. Dicho método se realizó en el laboratorio de Suelos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL).

3.7.4. Contenido de nitrógeno en planta

Para la medición de esta variable se tomaron cinco plantas como muestra representativa de cada tratamiento, dichos análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), el método para la determinación de nitrógeno fue el método semimicro Kendall modificado para planta.

3.8. Diseño experimental y análisis de varianza

Se utilizó un diseño experimental bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x2, el factor A (Hongos micorrícicos, *Sinorhizobium meliloti* y *Acinetobacter radioresistens*) se refiere a los inoculantes empleados, el factor B (F 85% y F 100%) a las dosis de fertilización, tres repeticiones por tratamiento dando como total 18 unidades experimentales. Para el ANAVA se empleó el paquete estadístico SAS 9.4 y en caso de encontrar diferencias entre tratamientos se realizó la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$).

4. RESULTADOS

4.1. Variables Agronómicas

Las variables agronómicas (Cuadro 1), altura de planta y biomasa de planta; no presentaron diferencias estadísticas tanto para los microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes ni en las dosis de fertilización utilizadas. Sin embargo, cabe mencionar que, el efecto de inocular con *Acinetobacter radioresistens* incrementó en 15 y 22% para altura de planta y biomasa respectivamente con comparación con la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA). Con respecto al efecto de la fertilización, al aplicar el 100% de la dosis se observaron los mayores valores en las variables altura de planta y biomasa en 8 y 9%, respectivamente. No se apreciaron diferencias estadísticas en las interacciones entre los inoculantes y dosis de fertilización.

Cuadro 1. Efecto de microorganismos promotores del crecimiento vegetal usados como inoculantes y dos dosis de fertilización en la altura de planta y biomasa del cultivo de melón.

	Altura de planta (cm)	Biomasa de planta (g)
<i>Inoculante</i>		
<i>Sinorizhobium meliloti</i>	1.8200 a	701.33 a
<i>Acinetobacter radioresistens</i>	2.0500 a	858.67 a
Hongos micorrízicos	1.8167 a	751.17 a
<i>Dosis de fertilización</i>		
Fertilización 100%	1.9678 a	803.67 a
Fertilización 85%	1.8233 a	737.11 a
Fertilización x Inoculante	NS	NS

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p \leq 0.05$).

4.2. Calidad comercial del fruto

En el Cuadro 2 se aprecia la respuesta en las variables peso de fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar, sólidos solubles totales y firmeza; que determinan la calidad comercial del fruto de melón al emplear microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleando dos dosis de fertilización (100 y 85%). Para el caso de las variables peso de fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar y sólidos solubles totales no se presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, para el caso de la firmeza se aprecia diferencia significativa al emplear *Acinetobacter radioresistens* sobre los HMA y *S. meliloti*, incrementando 34% con respecto a la respuesta de menor valor. En cambio, la dosis de fertilización no presentó diferencia estadística significativa en las variables evaluadas, al igual que el efecto entre la interacción de los inoculantes con las dosis de fertilización.

Cuadro 2. Efecto de microorganismos promotores del crecimiento vegetal usados como inoculantes y dos dosis de fertilización en la calidad comercial del fruto de melón.

	Peso de fruto (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Sólidos solubles (brix)	Firmeza (kg/cm ²)
<i>Inoculante</i>					
<i>Sinorizhobium meliloti</i>	1870.0 a	14.5333 a	17.4667 a	12.717 a	11.307 b
<i>Acinetobacter radioresistens</i>	1853.2 a	14.1333 a	17.3500 a	12.383 a	15.138 a
Hongos micorrízicos	1792.2 a	14.6167 a	16.5833 a	11.483 a	12.072 b
<i>Dosis de fertilización</i>					
Fertilización 100%	1856.0 a	14.3556 a	17.4889 a	12.6444 a	12.889 a
Fertilización 85%	1820.9 a	14.5000 a	16.7778 a	11.7444 a	12.789 a
Fertilización x Inoculante	NS	NS	NS	NS	NS

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.3. Calidad nutraceútica del fruto

4.3.1. Fenoles

En la variable contenido de fenoles totales, se apreció diferencia estadística entre la inoculación con diferentes microorganismos promotores del crecimiento vegetal como se puede observar en la Figura 1a, al inocular con *Acinetobacter radioresistens* se incrementó un 6.29% con respecto a *Sinorhizobium meliloti* el cual presentó el menor contenido de fenoles totales. De la misma manera, las dos dosis de fertilización mostraron ser estadísticamente diferentes ya que al fertilizar con el 100% se aprecia un incremento del 36.17% con respecto a la dosis del 85% (Figura 1b). Para el caso de la interacción entre los inoculantes utilizados y las dosis de fertilización se puede observar (Figura 1c) que al inocular con *A. radioresistens* con una dosis de 85% de la fertilización se mantiene la semejanza estadística con respecto a la dosis al 100% y es estadísticamente diferente con respecto a dosis del 85% y la inoculación tanto con *S. meliloti* y Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) incrementando 6.45% con respecto al valor más bajo registrado de *S. meliloti*.

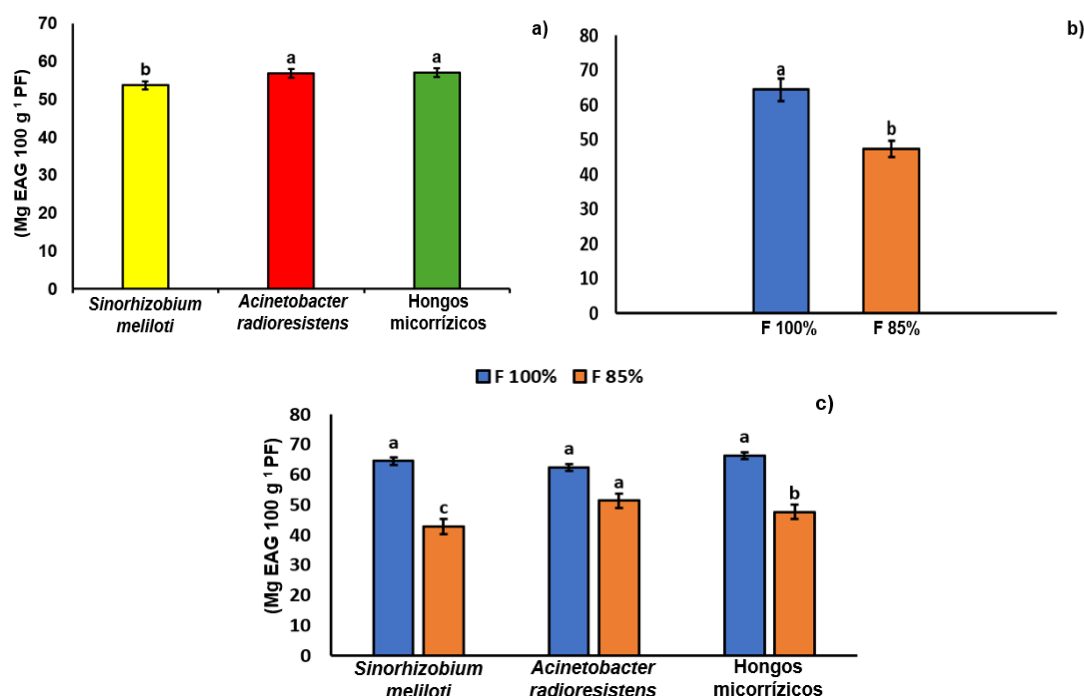


Figura 1. a) Efecto de MPCV sobre contenido de fenoles en el fruto de melón, b) Efecto de las dosis de fertilización sobre contenido de fenoles, c) Efecto interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de fenoles en el fruto de melón.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.3.2. Flavonoides

Para el caso de la variable flavonoides, se presentó diferencia estadística entre los inoculantes utilizados ya que el consorcio de HMA incrementó incrementando 7.93% con respecto a *S. meliloti* (Figura 2a). En el mismo sentido, la fertilización presenta diferencias estadísticas significativas (Figura 2b) ya que al fertilizar con el 100% se incrementa 45.8%. Como se aprecia en la Figura 2c, el efecto entre inoculantes y dosis de fertilización es estadísticamente significativo, cuando se emplea *A. radioresistens* con fertilización al 85%, ya que; se observa que el contenido de flavonoides es mayor en un 13.75% en comparación de *S. meliloti*.

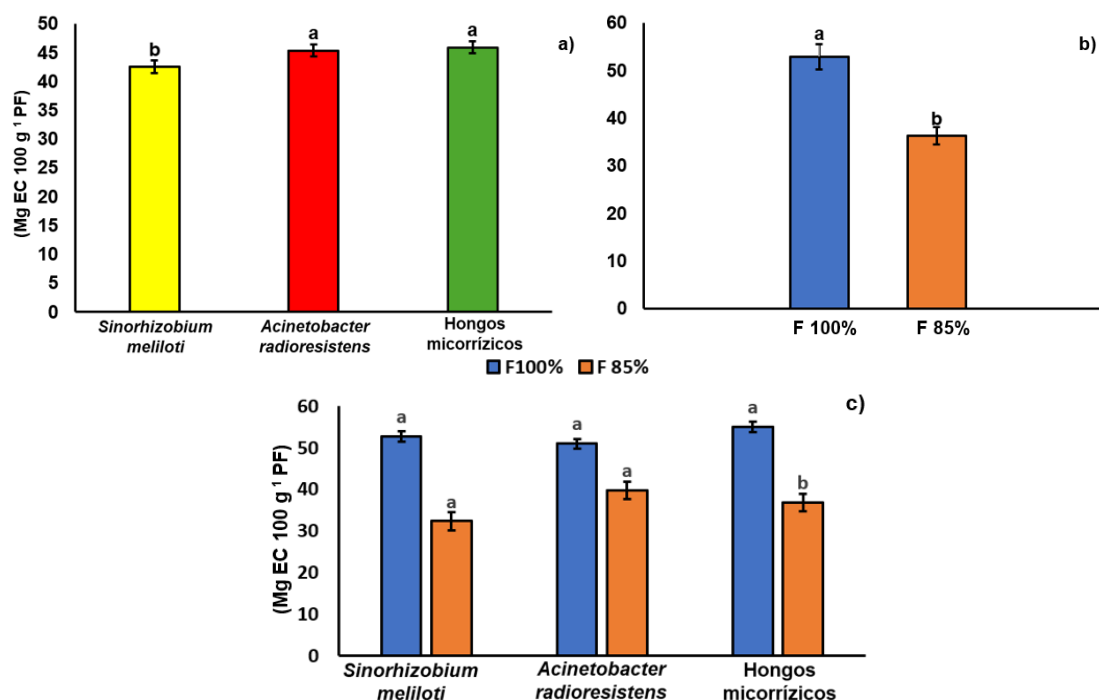


Figura 2. a) Efecto de MPCV sobre contenido de flavonoides en el fruto de melón, b) Efecto de las dosis de fertilización sobre contenido de flavonoides, c) Efecto interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de flavonoides en el fruto de melón.

*Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.3.3. Capacidad Antioxidante

En la Figura 3a se puede observar que la capacidad antioxidante en el fruto del melón es estadísticamente significativa entre los inoculantes, ya que al emplear *A. radioresistens* se aumenta en 9% con respecto a la capacidad antioxidante más baja presentada en *S. meliloti*. De igual manera se aprecia en la Figura 3b cómo la capacidad antioxidante es significativamente mayor al fertilizar al 100% ya que porcentualmente incrementó en 52% en comparación a la fertilización dosificada a 85%. Respecto a la interacción entre los microorganismos empleados como inoculantes y las dosis de fertilización evaluadas, no se aprecia diferencia significativa entre inoculantes y la dosificación al 100%, en cambio; *A. radioresistens* con una dosis al 85% de fertilizante incrementó la capacidad antioxidante en el fruto de melón en un 32% y es estadísticamente diferente de los otros inoculantes evaluados.

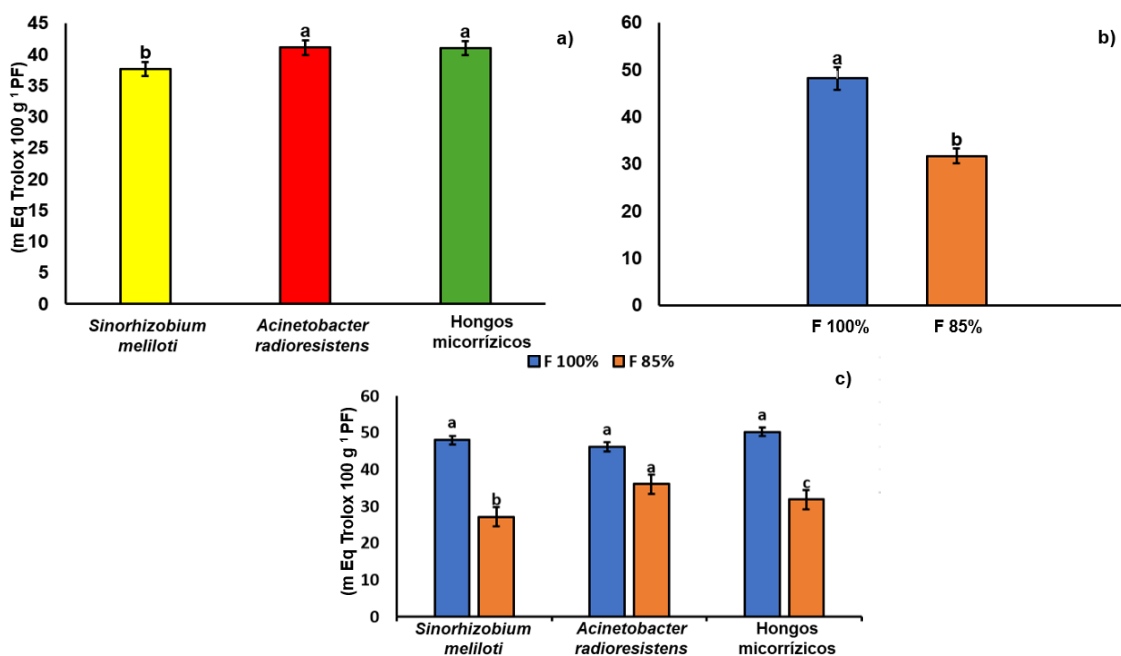


Figura 3. a) Efecto de MPCV sobre contenido de capacidad antioxidante, b) Efecto de las dosis de fertilización en el contenido de C.A, c) Interacción de inoculantes y fertilización sobre el contenido de C.A. en el fruto de melón.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.4. Contenido de nutrientes

4.4.1. Contenido de fósforo en suelo

Los resultados del contenido de fósforo en suelo mostraron diferencias estadísticas significativas entre los microorganismos promotores del crecimiento vegetal evaluados como bioinoculantes ya que el consorcio de HMA y *S. meliloti* dispusieron una media de 19.25 y 18.08 respectivamente de P en comparación de *A. radioresistens* que presento una media de 16.29 (Figura 4a). De la misma manera, las dosis de fertilización son estadísticamente diferentes, ya que al aplicar el 100% se incrementa un 40% en la disponibilidad de fósforo comparado con la dosis de 85%. La interacción de los inoculantes y dosis de fertilización también fue estadísticamente diferente (Figura 4c) cuando se inocula con HMA con una dosis al 100% de fertilizante el contenido de P es mayor en un 60% que al usar esa misma dosis con *A. radioresistens*, sin embargo, al aplicar una dosis de fertilizante al 85% con *S. meliloti* el contenido de P incrementó un 40% en comparación al consorcio de HMA.

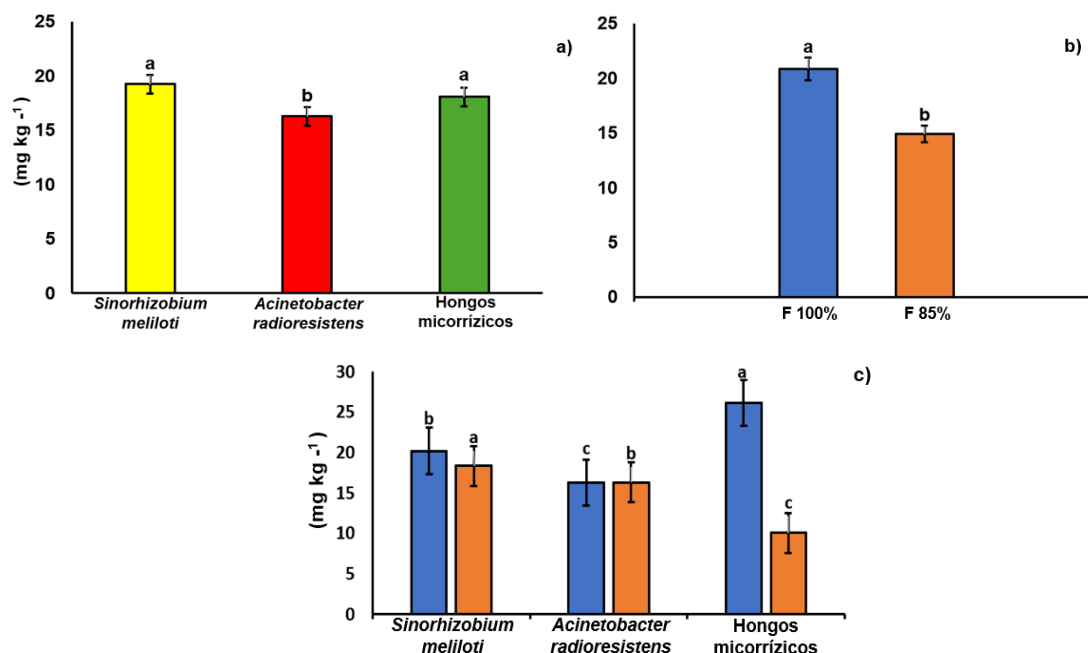


Figura 4. a) Efecto de MPCV sobre contenido de P en suelo, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de P en suelo, c) Efecto de interacción de inoculantes y fertilización sobre contenido total de P en suelo.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.4.2. Contenido de nitrógeno en suelo

La fijación de nitrógeno en el suelo es estadísticamente diferente en los inoculantes evaluados, el consorcio de HMA presentó un contenido mayor de un 9% en comparación a *A. radioresistens* (Figura 5a). En cambio, las dosis de fertilizantes no presentaron diferencias significativas (Figura 5b). La interacción de los inoculantes con las dosis de fertilización presentó diferencias estadísticas al inocular con HMA y fertilizar al 85% ya que se incrementó en un 14% comparada con el contenido de *A. radioresistens* y que incluso es estadísticamente similar al utilizar una dosis al 100% de fertilización (Figura 5c).

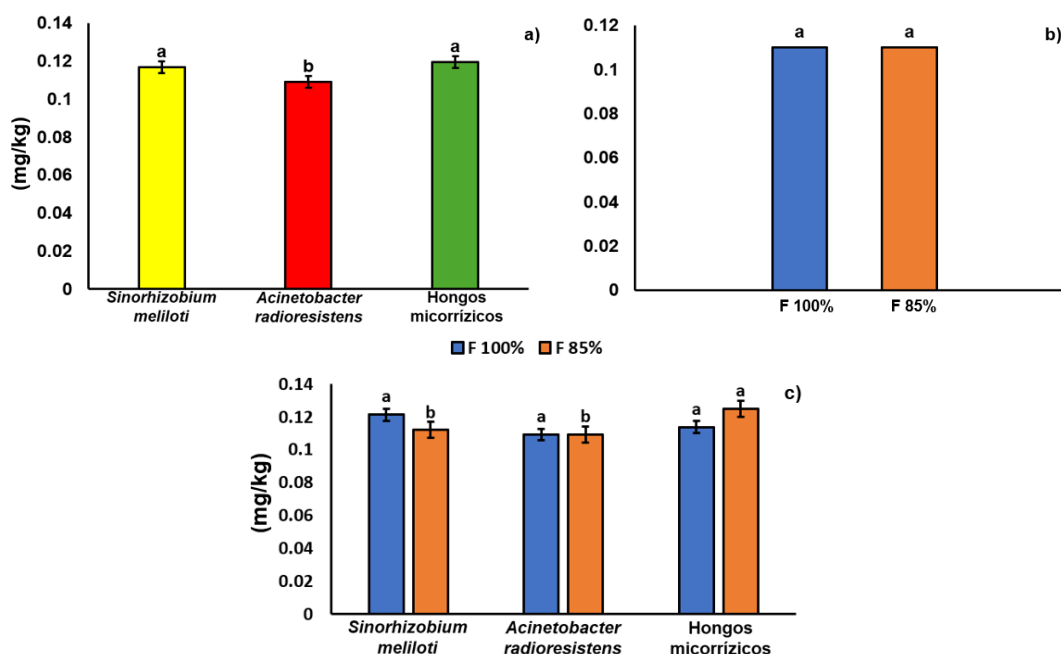


Figura 5. a) Efecto de MPCV sobre contenido de N en suelo, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de N en suelo, c) Efecto interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido de N en suelo.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.4.3. Contenido de fósforo en planta

Los resultados sobre el contenido de fósforo en planta mostraron diferencia significativa entre los microorganismos usados como inoculantes, en la Figura 6a se aprecia que el consorcio de HMA presenta un 20% más de P en planta en comparación a *A. radioresistens*. Con respecto a las dosis de fertilización, cuando se aplica la dosis de 85% el contenido de P en planta incrementó significativamente un 20% que al aplicar el fertilizante al 100% (Figura 6b). Por otro lado, como se puede apreciar en la Figura 6c, no se observó diferencia estadística significativa en el efecto de la interacción entre los inoculantes y las dosis de fertilización evaluadas.

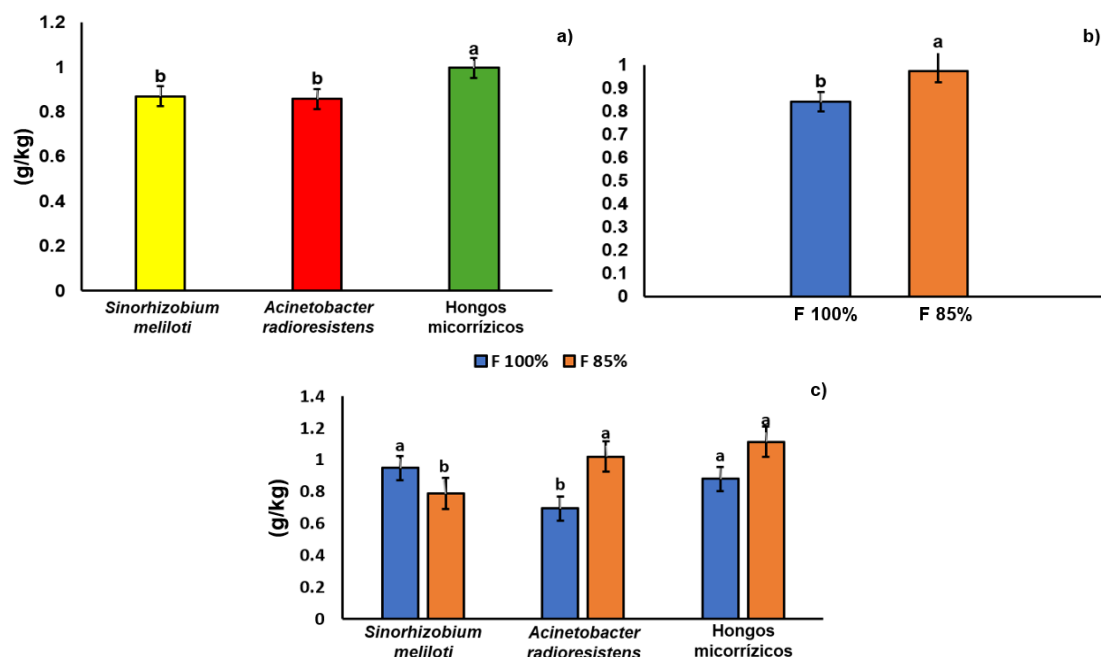


Figura 6. a) Efecto de MPCV sobre contenido de P en planta, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de P en planta, c) interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido total de P en planta de melón.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

4.4.4. Contenido de nitrógeno en planta

Con respecto al contenido de nitrógeno en planta, se presentó diferencia estadística entre microorganismos promotores del crecimiento vegetal (Figura 7a) ya que el al inocular con el consorcio de HMA incrementó el nitrógeno en planta un 16% en comparación al inocular con *A. radioresistens*. De igual manera, en el contenido de nitrógeno en planta es estadísticamente diferente entre las dosis de fertilizante evaluadas puesto, que como se aprecia en la Figura 7b, al fertilizar con una dosis de 85% se ha aumentado el contenido de nitrógeno en planta en un 15% con respecto a la dosis de fertilización al 100%. Por otro lado, en la figura 7c el consorcio de hongos micorrízicos con una fertilización al 85% mostro un incremento significativo del 11% por encima de las mismas cepas, pero con una fertilización al 100%.

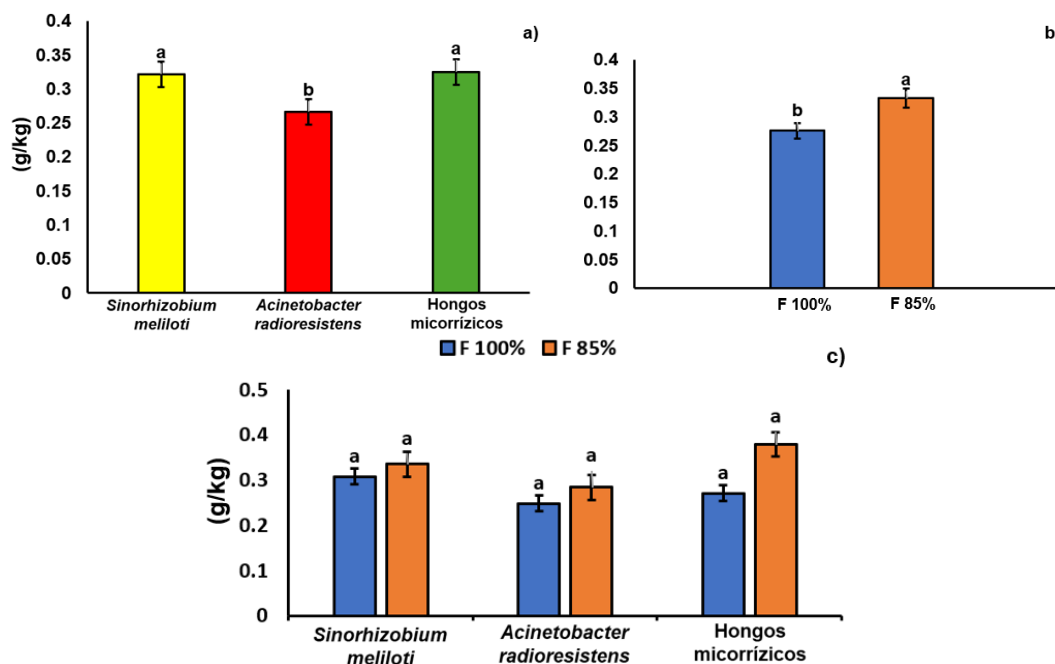


Figura 7. a) Efecto de MPCV sobre contenido de N en planta, b) Efecto de dosis de fertilización sobre contenido de N en planta, c) Efecto de interacción de inoculantes y dosis de fertilización sobre contenido total de N en planta de melón.

* Columnas con la misma letra no presentan diferencia estadística, Tukey ($p < 0.05$).

5. DISCUSIÓN

Al inocular las plantas de melón (*Cucumis melo L*) con Hongos micorrízicos arbúsculares, *Sinorhizobium meliloti* y *Acinetobacter radioresistens* aunado a dos dosis de fertilización (F100%) y (F85%) se obtuvieron resultados menores a la región de Tlahualilo, Durango en un manejo empleando nanopartículas de zinc, en variables como: Fenoles y flavonoides, pero se destacan los resultados de este experimento en variables de biomasa y altura de planta, calidad comercial del fruto, disponibilidad de P y N en suelo y planta, (Rivera, Gutiérrez *et al.*, 2021).

Para la absorción de las distintas formas nutricionales, las plantas requieren la síntesis de proteínas transportadoras específicas, lo que determina diferencias en sus preferencias relativas en función de la abundancia de cada forma disponible, por lo que puede atribuirse a la capacidad de absorber nitrógeno orgánico y adquiere gran relevancia en la nutrición vegetal, ya que, estudios recientes han demostrado que dicha absorción es considerablemente mayor de lo que se asumía anteriormente; puesto que, la forma en que los nutrientes son absorbidos influye de manera significativa en los costos totales de asimilación del cultivo (Escudero *et al.*, 2003). De este modo, queda evidenciado con los resultados obtenidos del presente experimento que el rendimiento no se vio afectado con la aplicación de los inoculantes y la disminución de la dosis de fertilización en un 15%.

Los resultados obtenidos para las variables agronómicas no presentaron diferencias significativas. Con respecto a las variables que determinan la calidad comercial del fruto, salvo en la firmeza, al emplear *A. radioresistens*; no presentaron diferencias estadísticas. Así mismo las variables de calidad comercial del fruto como la firmeza presentaron resultados superiores con una fertilización al 85% y con semillas inoculadas con *Acinetobacter radioresistens*. Esta misma tendencia se presentó para las variables de Fenoles, Flavonoides y Capacidad Antioxidante, donde la inoculación con *Acinetobacter radioresistens* presenta mejores resultados aunado a una fertilización al 85% e incluso es estadísticamente mejor que los resultados con una fertilización al 100%, por lo que se puede atribuir que estos resultados pueden estar ligados a la capacidad que logra tener la rizobacteria para aumentar la concentración de metabolitos (Soberanes, 2025).

Por otro lado, tanto el nitrógeno en suelo y planta, como el contenido de fósforo en suelo y planta el tratamiento que fue inoculado con el Consorcio de Hongos micorrízicos y una fertilización al 85% presentaron incremento en la disponibilidad de nutrientes e incluso es estadísticamente similar al utilizar una dosis de 100% de fertilización, esto se puede atribuir a que el empleo de un consorcio de hongos micorrízicos del género *Glomús* tiene la capacidad de favorecer a la aparición de pelos absorbentes para que estos logren una mayor y eficaz absorción de agua y nutrientes que derivaran a sustituir hasta un 75% de fertilización fosfórica, sin afectar los rendimientos y promoviendo una agricultura sostenible (Segundo *et al.*, 2021).

Para el tema de rendimientos que comprende peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial no se presentaron diferencias estadísticas significativas aun disminuyendo la fertilización en un 15%. Las inoculaciones con MPCV evidenciaron y sugieren que al emplearlas en los cultivos nos permitirán reducir el uso de fertilizantes químicos sin perjudicar los rendimientos. Esto se debe al efecto positivo que tienen los MPCV en la promoción del crecimiento y calidad del cultivo (González, 2018).

6. CONCLUSIÓN

La inoculación con hongos micorrízicos arbúsculares y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoraron el desarrollo del cultivo y la calidad comercial del fruto, sin embargo, se observó que mejora la calidad nutracéutica del fruto, el contenido y disponibilidad de fósforo y nitrógeno tanto en suelo como en planta. Por lo que se puede considerar como una alternativa para disminuir la aplicación de fertilizantes de síntesis química, lo cual puede representar la disminución de costos de operación.

No obstante, la aplicación de los inoculantes debe ser evaluada en otras condiciones experimentales para determinar con mayor precisión que los resultados obtenidos sean atribuidos al efecto de los inoculantes empleados y no a otros factores medioambientales no considerados en el presente trabajo de investigación.

7. LITERATURA CITADA

- Alzate Zuluaga, M. Y., Fattorini, R., Cesco, S., & Pii, Y. (2024). Plant-microbe interactions in the rhizosphere for smarter and more sustainable crop fertilization: the case of PGPR-based biofertilizers. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1440978>
- Aperlo, D., Schrohn, H., Fernández, N., & Mestre, M. C. (2023). Micorrizas y salicáceas: qué sabemos del período 2010-2020 y hacia dónde vamos. *Bosque (Valdivia)*, 44(1), 9–22. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002023000100009>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bonilla Buitrago, R. R., González de Bashan, L. E., Pedraza, R. O., Estrada Bonilla, G. A., & Pardo Díaz, S. (2021). *Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019>
- Camelo, M., Vera, S. P., & Bonilla, R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 159–166. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227
- (Cano, A. (2011). INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, Trichoderma spp. y Pseudomonas spp. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15–31.
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, (129). <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Cervantes-Gámez, R. G., Peñuelas-Rubio, O., Araujo-Benard, N., Fierro-Coronado, R. A., Trejo-Aguilar, D., Maldonado-Mendoza, I. E., & Cordero-Ramírez, J. D. (2021a). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas voluntarias de maíz en suelos de transición: ecosistema natural - uso agrícola. *Scientia Fungorum*, 51, e1330. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1330>
- Cervantes-Gámez, R. G., Peñuelas-Rubio, O., Araujo-Benard, N., Fierro-Coronado, R. A., Trejo-Aguilar, D., Maldonado-Mendoza, I. E., & Cordero-Ramírez, J. D. (2021b). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas voluntarias de maíz en suelos de transición: ecosistema natural - uso agrícola. *Scientia Fungorum*, 51, e1330. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1330>
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & De los Santos Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de

- biofertilizantes como alternativa agro- biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423–1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- da Silva, K. J. G., Fernandes, J. A. L., Magurno, F., Leandro, L. B. A., Goto, B. T., & Theodoro, R. C. (2022). Phylogenetic Review of Acaulospora (Diversisporales, Glomeromycota) and the Homoplastic Nature of Its Ornamentations. *Journal of Fungi*, 8(9), 892. <https://doi.org/10.3390/jof8090892>
- (Escudero, A., & Mediavilla, S. (2003, abril 1). Dinámica interna de los nutrientes. *REVISTA CIENTIFICA Y TECNICA DE ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE*, 2–6.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., González-Rodríguez, G., Reyes-González, A., Ayala-Garay, A. V., & Preciado-Rangel, P. (2020). Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(4), 795–803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>
- (Espinoza, A. (2005). Situación y tendencias en las actividades de producción y comercialización del melón (*Cucumis melo* L.) en la comarca Lagunera, México. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 801–811.
- Espinoza-Arellano, J. de J., Fabela-Hernández, A. M., Gaytán-Mascorro, A., Reyes González, A., & Sánchez-Toledano, B. I. (2023). Cuantificación y uso de pérdidas de alimentos: caso del melón cantaloupe en una región del norte-centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 159–170. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2962>
- Espinoza-Arellano, J. de J., Orona-Castillo, I., Guerrero-Ramos, L. A., Molina-Morejón, V. M., & Ramírez-Quiroga, E. C. (2019). Análisis del financiamiento, comercialización y rentabilidad del cultivo del melón con enfoque de “siembras por etapas” en la Comarca Lagunera de Coahuila, México. *CienciaUAT*, 71–82. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1054>
- Geue, H., & Hock, B. (2004). Determination of Acaulospora longula and Glomus subgroup Aa in plant roots from grassland using new primers against the large subunit ribosomal DNA. *Mycological Research*, 108(1), 76–83. <https://doi.org/10.1017/S0953756203009080>
- (González, P. (2018). *EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO VEGETAL EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.)*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL.
- Hagberg, K. L., Price, J. P., Yurgel, S. N., & Kahn, M. L. (2022). The Sinorhizobium meliloti Nitrogen Stress Response Changes Radically in the Face of Concurrent Phosphate Stress. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.800146>

- Liu, P., Gao, C., Gao, Y., Wang, C., Jiao, Z., Xu, A., Dong, Y., & Sun, J. (2025). Investigating Salt Tolerance in Melon During Germination and Early Seedling Stages. *Horticulturae*, 11(4), 397. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11040397>
- (Mario, V., (Rómulo, H., (Fernandez, I., (Larios, I., (Santos, M., & (Herrera, J. (2010). Complementos nutricionales para el rendimiento y nutrición del cultivo de melón con fertirriego y acolchado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 8–14.
- Mendoza-Churape, J., Apáez-Barrios, P., Raya-Montaña, Y. A., Pedraza-Santos, M. E., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., & Lara-Chávez, Ma. B. N. (2021). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en monocultivo de trigo en Michoacán, México. *Scientia Fungorum*, 51, e1369. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1369>
- Miceli, A., Vetrano, F., Torta, L., Esposito, A., & Moncada, A. (2023). Effect of Mycorrhizal Inoculation on Melon Plants under Deficit Irrigation Regimes. *Agronomy*, 13(2), 440. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020440>
- (Muñoz, B. (2019). “*Rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR) en el biocontrol del nematodo Meloidogyne incognita y Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici en el cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum)*” [Tesis]. UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO .
- (Navarro, G. (2024). *Mapeo fino y caracterización de un QTL implicado en el tamaño del fruto del melón* [Tesis]. Universidad politécnica de valencia.
- (Ochoa, M., (Madrigal, R., (Martínez, M., & (Carreón, Y. (2010). Plantas, hongos micorrizicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biologicas.*, 12(1), 65–71.
- Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., López-Martínez, J. D., Nieto-Garibay, A., & García-Hernández, J. L. (2024). Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1). <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3953>
- (Riera, M. (2005). INFLUENCIA DE LAS MICORRIZAS SOBRE LAS POBLACIONES BACTERIANAS Y SU EFECTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS EN SECUENCIA DE CULTIVOS. *Cultivos Tropicales*, 26(4), 21–27.
- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, R., Yescas-Coronado, P., & Orozco-Vidal, J. A. (2021). Nanoparticulas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 791–803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Román-Cortés, N. R., García-Mateos, Ma. del R., Castillo-González, A. Ma., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, Ma. A. (2018). CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE HORTALIZAS DE USO ANCESTRAL EN MÉXICO. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(3), 245–253. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>

- (SADER, R. L. 2021). (2021, marzo 9). *SADER. 2021. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Región Lagunera, Delegación en la Comarca Lagunera. Servicio de información estadística.* SADER.
- (Santana, D. (2025). *Importancia del uso de microorganismos benéficos para el control de enfermedades en cultivo de ciclo cortó en el Ecuador* [Tesis]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO.
- (Segundo, R., (Cuaical, E., (Bolívar, J., & (Sánchez, M. (2021). Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrizicos arbusculares en el cultivo de papa. *Revista Instituto Nacional de Ciencias Agrarias: Cultivos Tropicales*, 42(2), 9–11.
- (SIAP, R. L. (2017). *SERVICIO DE INFORMACION AGROALIMENTARIA Y PESQUERA.* SIAP.
- (Soberanes, M. (2025). *Efecto de pseudomonas paralactis en el cultivo de melón (Cucumis melo L.)* [Tesis]. UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- (Trinidad, S., & (Velasco, V. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *AgEcon: Agro Productividad*, 9(8), 52–58.
- (Valenzuela, V. (2018). Las colecciones microbianas y su potencial contribución a la seguridad alimentaria actual y futura. *Revista latinoamericana de recursos naturales*, 14(1), 18–25.
- (Velasco, L. (2022). *INOCULACION DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA ARBUSCULAR (HFMA) Y BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR)* [Tesis]. Institución de enseñanza y investigación en ciencias agrícolas. Campus Montecillo.
- Zapata-Sifuentes, G., Sariñana-Aldaco, O., Lara-Reimers, E. A., Torres-Rodríguez, J. A., Zuñiga-Serrano, A., & Preciado-Rangel, P. (2025). Efecto bioestimulante de rizobacterias benéficas sobre el rendimiento y compuestos bioactivos de pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(3), e3948.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v16i3.3948>