



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



CIQA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN QUÍMICA APLICADA

Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

Saltillo, Coah, a 26 de Agosto de 2024

Declaración de documento libre de plagio:

Mediante esta declaración manifestamos que el documento de tesis titulado "Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos." redactado por Juan Manuel Hernández Moreno, y revisado por el (la) Joe Humberto Valenzuela Soto/Director(a) y Adrien Galloe(a)/Co-director(a), está libre de plagio cumpliendo los siguientes aspectos:

Autenticidad y crédito a las fuentes	Revisado*
Los textos son originales	X
El documento está libre de oraciones y párrafos copiados de otras fuentes bibliográficas, sitios de internet, etc.	X
El documento está libre de traducciones literales emanadas de literatura en otro idioma	X
Los textos están debidamente referenciados	X
Las citas textuales (si las hay) están entrecomilladas y referenciadas	X
Fotografías, esquemas, gráficas, tablas y otros materiales emanados de otras fuentes están referenciados.	X
Se adjunta reporte de revisión realizado con el software <u>Ithenticate</u> con un registro de <u>16%</u> de similitud.	X

*Marque con una "X"





GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN QUÍMICA APLICADA

Juan Manuel Hernández Moreno

Nombre y firma del
(de la) autor(a)

José Humberto Valenzuela Soto

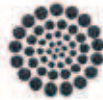
Nombre y firma del (de la)
Asesor(a) /director(a)

Adrien Gallou

Nombre y firma del (de la)
Co-asesor(a) /Co-director(a)



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIAS
EXACTAS Y TECNOLÓGICAS

CIQA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN QUÍMICA APLICADA

Saltillo, Coahuila a 30 de agosto de 2024

Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura


Coordinación de Posgrado

PRESENTE

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por JUAN MANUEL HERNÁNDEZ MORENO titulado "Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos" el cual fue presentado el día 29 de agosto de 2024, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

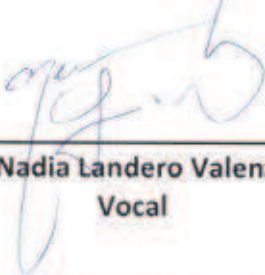
SINODALES



Dr. Carlos Patricio Illescas Riquelme
Presidente

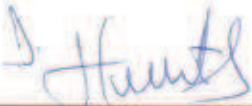


Dr. Francisco Marcelo Lara Viveros
Secretario




Dra. Nadia Landero Valenzuela
Vocal

Vo. Bo. de los Asesores



Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Asesor



Dr. Adrien Gallou
Co-asesor

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: JUAN MANUEL HERNÁNDEZ MORENO FIRMA 

TITULO: Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (Solanum lycopersicum L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos.

ASESORES: Dr. Dr. José Humberto Valenzuela Soto FIRMA 

Dr. Adrien Gallou

FIRMA 

El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 29 de Agosto de 2024




Dra. Julieta Torres González
Directora General del CIQA



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

**Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias
en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos**

Presentada por:

JUAN MANUEL HERNÁNDEZ MORENO

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Dr. Adrien Gallou

Saltillo, Coahuila, México.

Agosto, 2024

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos

Presentada por:

JUAN MANUEL HERNÁNDEZ MORENO


Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Dr. Adrien Gallou

SINODALES



Dr. Carlos Patricio Illescas Riquelme
Presidente



Dr. Francisco Marcelo Lara Viveros
Secretario



Dra. Nadia Landero Valenzuela
Vocal

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 29 de agosto de 2024



JUAN MANUEL HERNÁNDEZ MORENO

Nombre y Firma

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

CIQA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) co-inoculadas con micorrizas y rizobacterias en la resistencia sistémica inducida hacia patógenos necrotróficos.

Presentado por:

Ing. Juan Manuel Hernández Moreno

Presentada para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Asesores:

Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Dr. Adrien Gallou

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología y Humanidades por el apoyo de la beca para cursar la maestría.

A mis papás Juan Manuel Raymundo Hernández González y Heriberta Moreno Santiago, por la motivación que me dieron para poder realizar otro logro en el aspecto profesional.

A mis asesores de tesis Dr. Humberto Valenzuela Soto y Dr. Adrien Gallou por su apoyo y paciencia en este proyecto, su experiencia y conocimientos me ayudaron mucho para realizar y finalizar trabajo.

A la Dra. Yolanda Ortega y la Dra. Mona Kassem por su apoyo técnico en los laboratorios, sus consejos y experiencia me ayudaron mucho en los trabajos realizados.

Al M.C. Jairo Vázquez Lee y los demás trabajadores que laboran en el área experimental de CIQA por el apoyo al mantenimiento del invernadero.

A mis compañeros de CIQA que me ayudaron en ciertas etapas de la investigación, agradezco todos los momentos que pasamos dentro y fuera de CIQA en nuestra estancia en la ciudad de Saltillo

Resumen

El presente trabajo se desarrolló con el propósito de eficientar la entrega de nutrientes reduciendo de la cantidad y frecuencia de aplicación, utilizando fertilizantes encapsulados e inoculando con microorganismos benéficos para mejorar de manera sostenible la nutrición y resistencia de las plantas. Se realizaron dos bioensayos a nivel invernadero, se aplicó el fertilizante micro-encapsulado MKP (FE) en plantas de tomate que previamente fueron inoculadas con un hongo micorrícico arbuscular (HMA) y la rizobacteria *Enterobacter* sp. DBA51 para mejorar la absorción de nutrientes y activar la resistencia sistémica inducida contra el patógeno *Pectobacterium cacticidum* (FHLGJ22). El primer bioensayo fue realizado para promover del crecimiento de las plantas, con el objetivo de evaluar el crecimiento de la planta y comprobar la simbiosis de hongo-bacteria con la planta, donde se evaluaron 9 tratamientos: 1) Control, 2) MKP, 3) MKP + Rizobacteria, 4) FE + HMA + Rizobacteria, 5) MKP + HMA + Rizobacteria, 6) FE + Rizobacteria, 7) FE, 8) MKP + HMA, 9) FE + HMA, con 10 repeticiones por tratamiento bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. Se evaluaron parámetros biométricos de todas las plantas como: altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), peso fresco y seco de hojas, tallo, raíz, parámetros fisiológicos como: tasa de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática; además se cuantificó el contenido de P por cada tratamiento. Se confirmó por microscopía la colonización micorrícica y presencia de la rizobacteria en las raíces de plantas tratadas. El segundo bioensayo realizado fue de patogenicidad para evaluar el posible efecto sinérgico de la interacción de ambos microorganismos benéficos para inducir la resistencia sistémica, se evaluaron 8 tratamientos: 1) Control, 2) Control + FHLGJ22, 3) MKP + HMA + FHLGJ22, 4) MKP + HMA, 5) MKP + HMA + FHLGJ22, 6) FE + HMA + Rizobacteria + FHLGJ22, 7) FE + Rizobacteria + FHLGJ22, 8) FE + HMA + FHLGJ22, con las mismas repeticiones y mismo diseño experimental al bioensayo anterior. Las plantas se infectaron con el patógeno necrotrófico *P. cacticidum* (FHLG22), las diferencias de síntomas presentados se evaluaron por medio de análisis de imágenes y finalmente se evaluó la expresión de genes asociados a defensa. La interacción de los microorganismos benéficos facilitó la absorción de nutrientes, en especial al P por el FE, los análisis moleculares de expresión génica confirmaron que genes de resistencia involucrados con ácido jasmónico y etileno, estaban inducidos en respuesta al patógeno. En conclusión, las plantas tratadas con FE y microorganismos

benéficos no solo mostraron incremento de P foliar, sino que también desarrollaron resistencia frente al patógeno. Estos resultados subrayan el potencial de implementar fertilizante encapsulado en combinación con los microorganismos benéficos para promover la salud y resistencia en las plantas. Para futuras investigaciones se podría plantear el uso de fertilizantes encapsulados con el fin de reducir la cantidad y frecuencia de aplicación, combinado con microorganismos benéficos para mejorar la salud de la planta y reducir el uso de productos químicos.

Tabla de contenido

I. INTRODUCCIÓN	18
I.1 Cultivo de tomate en México.....	21
I.2 Generalidades del cultivo de tomate	21
I.3 Taxonomía y clasificación	23
I.4 Fertilización.....	23
I.4.1 Problemática por el uso de fertilizantes	24
I.4.2 Fertilizantes encapsulados	25
I.4.3 Aspectos sobre el encapsulamiento de compuestos	26
I.4.4 Morfología de micro-cápsulas.....	27
I.4.5 Métodos de encapsulamiento	27
I.5 Fósforo en el suelo	30
I.5.1 El fósforo en las plantas	31
I.5.2 Deficiencia de fósforo	31
I.5.3 Movilidad del fósforo	32
I.5.4 Microorganismos solubilizadores de fósforo	32
I.6 Hongos micorrícicos arbusculares.....	34
I.6.1 Mecanismos de colonización	34
I.6.2 Beneficios de los HMA	35
I.6.3 HMA y absorción de fósforo	35
I.7 Rizobacterias promotoras del crecimiento.....	36
I.7.1 Influencia de las rizobacterias promotoras del crecimiento en la absorción de fósforo	37
I.7.2 Resistencia sistémica inducida	37
I.7.3 Resistencia sistémica adquirida	38
I.7.4 Vías de señalización.....	38

I.7.5 Vía de señalización mediada por el ácido salicílico	39
I.7.6 Vía de señalización del etileno	39
I.7.7 Vía de señalización del ácido jasmónico	40
I.7.8 Interacción entre las vías de señalización de AJ/ET y AS	40
I.7.9 Resistencia sistémica inducida por PGPR	41
I.7.10 Resistencia inducida por micorrizas (MIR)	42
II. HIPÓTESIS	44
III. OBJETIVOS	44
III.1 Objetivo general	44
III.2 Objetivos específicos	44
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	45
IV.1 Localización del sitio experimental	45
IV.2 Material biológico	45
IV.3 Fertilizante micro-encapsulado MKP	46
IV.3.1 Cantidad de fertilizante micro-encapsulado MKP a aplicar	48
IV.3 Bioensayo de promoción del crecimiento	48
IV.3.1 Siembra e inoculación de microorganismos benéficos y aplicación del fertilizante encapsulado	48
IV.4 Diseño experimental	50
IV.5 Mediciones biométricas y fisiológicas	50
IV.5.1 Altura de planta	50
IV.5.2 Diámetro del tallo	50
IV.5.3 Biomasa fresca foliar	51
IV.5.4 Biomasa seca foliar	51
IV.5.5 Toma de datos fisiológicos	51
IV.5.6 Recolección de tejido radicular	51

IV.5.7 Recolección de tejido foliar para cuantificación de fósforo	51
IV.6 Colonización intrarradical del HMA	52
IV.7 Confirmación de la rizobacteria (PGPR) en la planta	52
IV.8 Bioensayo de patogenicidad.....	53
IV.8.1 Siembra e inoculación de microorganismos benéficos y aplicación del fertilizante encapsulado	53
IV.9 Crecimiento del patógeno necrotrófico (<i>Pectobacterium cacticidum</i> FHLGJ22).....	53
IV.9.1 Aplicación del patógeno a las plantas de tomate	54
IV.10 Diseño experimental	55
IV.11 Porcentaje de severidad mediante el análisis de imágenes en R studio.....	56
IV.12 Confirmación de rizobacteria en la planta	56
IV.13 Recolección de tejido foliar	57
IV.14 Extracción de ARN total.....	57
IV.15 Amplificación de genes de resistencia por PCR y verificación por electroforesis en geles de agarosa	58
IV.16 Análisis estadístico	59
V. RESULTADOS.....	60
V.1 Bioensayo de promoción del crecimiento.....	60
V.1.1 Resultados de pruebas biométricas y fisiológicas.....	60
V.1.2 Cuantificación del fósforo.....	101
V.1.3 Resultados de la simbiosis de HMA con las raíces	107
V.1.3 Confirmación de la rizobacteria en la planta	109
V.2 Bioensayo de patogenicidad.....	109
V.2.1 Resultados de la simbiosis de HMA con las raíces	109
V.2.2 Confirmación de la rizobacteria en la planta	111
V.2.3 Resultados de procesamiento de imágenes	112

V.2.4 Expresión de genes de defensa por RT-PCR semicuantitativo.....	112
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	123
VI. CONCLUSIONES	1
VII. REFERENCIAS	3
VIII. ANEXOS	14
Anexo 1. Solución Hoagland.....	14
Anexo 2. Anova altura de la planta.....	14
Anexo 3. Tabla de comparaciones de altura de la planta	15
Anexo 4. Anova sinergia FE	17
Anexo 5. Anova sinergia HMA - FE.....	17
Anexo 6. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	18
Anexo 7. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE.....	18
Anexo 8. Anova sinergia MKP	18
Anexo 9. Anova sinergia HMA – MKP	18
Anexo 10. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP.....	19
Anexo 11. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE.....	19
Anexo 12. Anova diámetro del tallo	19
Anexo 13. Tabla de comparaciones de diámetro del tallo.....	20
Anexo 14. Anova sinergia FE.....	22
Anexo 15. Anova sinergia HMA – FE	22
Anexo 16. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	23
Anexo 17. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE.....	23
Anexo 18. Anova sinergia MKP	23
Anexo 19. Anova sinergia HMA – MKP	23
Anexo 20. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP.....	24
Anexo 21. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP	24

Anexo 22. Anova peso foliar fresco	24
Anexo 23. Tabla de comparaciones de peso foliar fresco.....	25
Anexo 24. Anova peso foliar seco.....	27
Anexo 25. Tabla de comparaciones de peso foliar seco	28
Anexo 26. Anova sinergia FE.....	30
Anexo 27. Anova sinergia HMA – FE.....	30
Anexo 28. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	31
Anexo 29. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE	31
Anexo 30. Anova sinergia MKP.....	31
Anexo 31. Anova sinergia HMA – MKP	31
Anexo 32. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 -MKP	32
Anexo 33. Anova HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP	32
Anexo 34. Anova peso fresco raíz.....	32
Anexo 35. Tabla de comparaciones peso fresco raíz	33
Anexo 36. Anova peso seco raíz	35
Anexo 37. Tabla de comparaciones peso seco raíz.....	36
Anexo 37. Anova sinergia FE.....	38
Anexo 38. Anova sinergia HMA – FE.....	38
Anexo 39. Anova sinergia HMA - Rizobacteria DBA51 – FE.....	39
Anexo 40. Anova sinergia MKP.....	39
Anexo 41. Anova sinergia HMA – MKP	39
Anexo 42. Anova sinergia HMA - Rizobacteria DBA51 – MKP	39
Anexo 43. Anova fotosíntesis	40
Anexo 44. Tabla de comparaciones fotosíntesis	40
Anexo 45. Anova sinergia FE.....	43
Anexo 46. Anova sinergia HMA – FE.....	43

Anexo 47. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	43
Anexo 48. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE	43
Anexo 49. Anova sinergia MKP	44
Anexo 50. Anova sinergia HMA – MKP	44
Anexo 51. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP	44
Anexo 52. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP	44
Anexo 53. Anova conductancia estomática	45
Anexo 54. Tabla de comparaciones conductancia estomática.....	45
Anexo 55. Anova sinergia FE.....	48
Anexo 56. Anova sinergia HMA – FE	48
Anexo 57. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	48
Anexo 58. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE	48
Anexo 59. Anova sinergia MKP	49
Anexo 60. Anova sinergia HMA – MKP	49
Anexo 61. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP	49
Anexo 62. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DB51 – MKP	49
Anexo 63. Anova transpiración.....	50
Anexo 64. Tabla de comparaciones transpiracion.....	50
Anexo 65. Anova sinergia FE.....	53
Anexo 66. Anova sinergia HMA – FE	53
Anexo 67. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP.....	53
Anexo 68. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP	53
Anexo 69. Anova cuantificación del fósforo	54
Anexo 70. Tabla de comparaciones cuantificación del fósforo	54
Anexo 71. Anova sinergia FE.....	57
Anexo 72. Anova sinergia HMA – FE	57

Anexo 73. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE	57
Anexo 74. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE	57
Anexo 75. Anova sinergia MKP	58
Anexo 76. Anova sinergia HMA – MKP	58
Anexo 77. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP	58
Anexo 78. Anova HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP	58
Anexo 79. Anova área enferma	59
Anexo 80. Anova AOC	59
Anexo 81. Anova PR1	60
Anexo 82. Anova ERPI1	60
Anexo 83. Anova ACCO	61
Anexo 84. Anova PtoR1.....	61
Anexo 85. Anova SOD	62

Tabla de figuras

Figura 1. Localización del sitio experimental, fuente (Google Earth), A) vista general CIQA, B) área experimental agrícola invernadero (IBT-004).....	45
Figura 2. Equipo Spray dryer FT-80 para el encapsulamiento del fertilizante.....	47
Figura 3. Materiales utilizados como matriz para el encapsulamiento del MKP (fosfato mono potásico).	47
Figura 4. Diseño experimental correspondiente al bioensayo de promoción del crecimiento	50
Figura 5. Aplicación del patógeno por la técnica de infiltración 5 µl a cada planta.....	54
Figura 6. A) Síntoma presentado por la aplicación del patógeno (clorosis), B) Hoja de tratamiento control presentado daño mecánico por la técnica de infiltración	55
Figura 7. Diseño experimental correspondiente al bioensayo de patogenicidad.....	56
Figura 8. Promoción de crecimiento en tomate altura de la planta. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado	

MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA+ R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10. 61

Figura 9. Se muestran resultado de sinergia en tratamientos con FE y sin FE, donde muestran similitud no teniendo diferencia estadística entre ellos. 62

Figura 10. Se muestra resultado de sinergia de los tratamiento de HMA con FE en sus diferentes combinaciones, donde el resultado del FE solo y HMA solo tienen diferencias estadísticas actuando de manera individual pero en combinación tiene un efecto intermedio entre los dos pero no es lo suficientemente distinto para considerar una diferencia estadística, el efecto en la planta del factor HMA es que la planta destina fotosintatos para alimentar a los HMA en lugar de ser utilizados de ser utilizados para el crecimiento vegetativo de la planta. 63

Figura 11. Se muestra el resultado de la Singer entre la rizobacteria DBA51 y el FE, en el cual los tratamientos individuales de FE y DBA51 no tiene diferencia estadística entre ellos en comparación al tratamiento en donde están los dos juntos el cual tiene diferencias estadísticas que se refleja en la menor altura de la planta, al destinar una cantidad significativa de sus fotosintatos para mantener y alimentar a la rizobacteria 63

Figura 12. Concentrado de los tratamientos y combinaciones de HMA, rizobacteria DBA51 y FE, donde se muestra la sinergia que se presentó en cada tratamiento. 64

Figura 13. Se muestra resultados de tratamientos con y sin MKP fertilizante comercial, en el cual se muestra similitud, no presentando diferencia estadística. 64

Figura 14. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y el fertilizante MKP comercial, en el cual el tratamiento de MKP tiene diferencia estadística al de HMA solo, en combinación tiene un valor más bajo estadísticamente, esto se debe al gasto de fotosintatos que la planta destina para alimentar a los HMA es mayor que el que destina para su desarrollo vegetal. 65

Figura 15. Se muestran resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el fertilizante MKP comercial, donde las combinaciones individuales de Rizobacteria y MKP presentan similitud, pero diferencia estadística en el tratamiento donde están juntos, la sinergia de estos dos factores beneficia en la altura de la planta. 66

Figura 16. Concentrado de los tratamientos y combinaciones de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP, donde se muestra la sinergia que se presentó en cada tratamiento. 66

Figura 17. Promoción de crecimiento en tomate por diámetro de tallo. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y

rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza).
Tratamientos con n = 10..... 67

Figura 18. Se muestran resultado de la sinergia de tratamientos con y sin FE, donde se aprecia que tiene diferencia estadística, mostrando el resultado más alto FE. 68

Figura 19. Se muestra resultados de la sinergia entre los factores de HMA y FE, donde individualmente muestran diferencias estadísticas, pero al estar juntos muestran sinergia mostrando un valor intermedio, no siendo diferente estadísticamente. 69

Figura 20. Se muestran resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el FE, los cuales de manera individual de forma combinada tiene cierta similitud no mostrando diferencias estadísticas entre ellos... 70

Figura 21. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE. 70

Figura 22. Se presenta resultado de la sinergia de los tratamientos de sin y con MKP, las cuales tiene diferencias estadísticas, siendo el de MKP más bajo. 71

Figura 23. Se muestra el resultado de la sinergia entre los HMA y el fertilizante MKP comercial, el cual de manera individual muestran similitudes, pero de manera conjunta muestra diferencia al MKP solo, este valor se muestra más bajo por el consumo de fotosintatos que destina la planta para alimentar y mantener a los HMA. 71

Figura 24. Se presenta resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el fertilizante MKP comercial, el valor más alto se presenta con la rizobacteria de manera individual teniendo similitud en combinación de R y MKP, este tiene diferencia estadística con el MKP individual el cual tiene el valor más bajo. 72

Figura 25. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP..... 73

Figura 26. Promoción de crecimiento en tomate por peso fresco foliar en gramos (A) y peso seco foliar en gramos (B). Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10. 74

Figura 27. Promoción de crecimiento en tomate por peso seco foliar en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con

micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.....	75
Figura 28. Se presenta resultados de la sinergia de tratamientos de FE que muestra mayor valor teniendo diferencia significativa con el que no tiene FE.....	76
Figura 29. Se presentan resultados de la sinergia entre los HMA y FE, donde de manera individual presentan diferencias estadísticas, de maneja conjunta tiene un valor intermedio, pero con diferencias estadísticas a los individuales.....	76
Figura 30. Se presentan resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y FE, los cuales muestran diferencias estadísticas entre ellos, la combinación de ellos tiene un valor intermedio con diferencias estadísticas.....	77
Figura 31. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	77
Figura 32. Promoción de crecimiento en tomate por peso fresco raíz en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.....	78
Figura 33. Promoción de crecimiento en tomate por peso seco radicular en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.....	79
Figura 34. Se presenta resultado de la sinergia de FE que muestra un valor más alto mostrando diferencia significativa.	80
Figura 35. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE, siendo el valor más alto el de FE individual, HMA solo y de manera combinada muestra cierta similitud no teniendo diferencias estadísticas entre ellos.	81
Figura 36. Se presentan resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y FE, donde la combinación de estos dos tiene un valor intermedio siendo diferente estadísticamente a los individuales.....	82

Figura 37. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	82
Figura 38. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de fotosíntesis. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.....	83
Figura 39. Se presenta resultado de sinergia en tratamientos sin y con FE, los cuales muestran diferencias estadísticas, teniendo un valor más alto el tratamiento sin FE.	84
Figura 40. Se presenta resultados de la sinergia entre los HMA y FE los cuales muestran similitud no teniendo diferencia estadística de forma individual y de forma conjunta.	85
Figura 41. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE, donde R tiene el valor más alto con diferencias estadísticas a los demás, FE de manera combinada o individual tiene cierta similitud sin diferencias estadísticas.	85
Figura 42. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	86
Figura 43. Se presenta resultado de la sinergia del fertilizante MKP, en el cual no hay diferencias estadísticas al tratamiento sin MKP.....	87
Figura 44. Se presenta resultados de sinergia entre los HMA y FE, se aprecia que el Fe individual tiene diferencia estadística a los demás, los HMA solo y combinado con FE muestran similitud no teniendo diferencias estadísticamente.	87
Figura 45. Se presenta resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y MKP, donde el resultado más alto es la combinación de estos, tenido diferencias significativas en donde están de manera individual. ..	88
Figura 46. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.....	89
Figura 47. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de conductancia estomática. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.....	90

Figura 48. Se presenta resultado de tratamientos sin y con FE, los cuales tiene diferencias estadísticas siendo el más bajo el FE.	91
Figura 49. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE los cuales tiene cierta similitud, en combinación y de forma individual no teniendo diferencias estadísticas.	91
Figura 50. Se presenta resultado de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE donde se muestra cierta similitud entre ellos, no teniendo diferencia estadística.	92
Figura 51. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	92
Figura 52. Se presenta resultado de la sinergia del fertilizante MKP, de los cuales no se aprecia diferencia estadística en los tratamientos de sin y con MKP.	93
Figura 53. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y MKP, donde el valor más alto con diferencia estadística es de MKP individual, el HMA solo y combinado tiene cierta similitud no mostrando diferencia estadística.	93
Figura 54. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA5 y MKP de los cuales de forma individual y combinada muestran cierta similitud no teniendo diferencias estadísticas entre ellos.	94
Figura 55. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.	94
Figura 56. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de transpiración. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$	95
Figura 57. Se presenta resultado de sinergia de FE, donde se muestra similitud no teniendo diferencia estadística entre sin y con FE.	96
Figura 58. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y FE, donde de manera combinada he individual muestran cierta tendencia no observando diferencias estadísticas entre ellos.	97
Figura 59. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE donde la combinación de estos tiene el valor más alto a diferencia de FE individual, pero comparten cierta similitud con R individual.	98
Figura 60. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	98

Figura 61. Se presenta resultado de sinergia del fertilizante MKP comercial, donde se muestra similitud no teniendo diferencia estadística.....	99
Figura 62. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y MKP, donde MKP individual tiene diferencia estadística con HMA y MKP combinados, pero estos muestran cierta similitud con HMA solo.	100
Figura 63. Se presentan resultados de sinergia entre rizobacteria y MKP, donde las tres combinaciones muestran cierta similitud no observado diferencia estadística entre ellos.....	100
Figura 64. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.....	101
Figura 65. Cuantificación de fósforo. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.	102
Figura 66. Se presenta resultados de la sinergia del FE, donde se muestra diferencia estadística en comparación al tratamiento sin.....	103
Figura 67. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE, se observa que el tratamiento FE solo y combinado con HMA tiene cierta similitud en comparación a HMA solo con el que se muestra diferencia estadística.	103
Figura 68. Se presentan resultados de sinergia de rizobacteria DBA51 con FE, donde FE individual presenta similitud con R y FE, teniendo diferencia estadística con R individual.....	104
Figura 69. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.	104
Figura 70. Se presenta resultados de la sinergia del fertilizante MKP, donde se observa diferencias estadísticas del tratamiento sin en comparación de MKP.	105
Figura 71. Se presentan resultados de sinergia de HMA y MKP, donde se observan diferencias estadísticas en las tres combinaciones, siendo la combinación de HMA y MKP el de menor valor estadístico.	106
Figura 72. Se presentan resultados de sinergia de Rizobacteria DBA51 y MKP, donde se muestra que el tratamiento R es el valor más alto con diferencia estadística a R con MKP y MKP solo, que muestran cierta similitud.	106
Figura 73. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.....	107
Figura 74. Grafica del porcentaje de colonización micorrícica por cada tratamiento de hifas.....	108

Figura 75. Grafica del porcentaje de colonización micorrícica antirradical por cada tratamiento de arbusculos.....	108
Figura 76. Resultado de la base de datos de NCBI corroborando el género <i>Enterobacter</i> . ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 77. Gráficos del porcentaje de colonización micorrícica intrarradical de hifas en raíces de plantas del segundo bioensayo en invernadero.	110
Figura 78. Gráficos del porcentaje de colonización micorrícica de arbusculos en raíces de plantas del segundo bioensayo en invernadero.	110
Figura 79. Crecimiento en medio PVK, A) Cajas con tratamientos y B) Presencia del halo formado por la solubilización de fósforo por <i>Enterobacter</i> sp. DBA51.	111
Figura 80. Diferencias de medias de datos de área enferma, n = 10 análisis de varianza realizado en el programa Infostat con un nivel de significancia de $P < 0.05$	112
Figura 81. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T1 al T5 con tres réplicas. Los genes evaluados: EIF1 α (Factor de elongación 1 α , control constitutivo), AOC (aleno óxido ciclasa), ERP1 (proteína de respuesta a etileno), ACCO (aminociclopropano carboxilato oxidasa), PtoR1 (proteína de respuesta a patógeno), SOD (superóxido dismutasa) y PR1 (proteína relacionada a patogénesis). M, marcador de tamaño molecular 100 pares de bases y separados en geles de agarosa al 2%.....	114
Figura 82. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T5 al T8 con tres réplicas. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T5 al T8 con tres réplicas. Los genes evaluados: EIF1 α (Factor de elongación 1 α , control constitutivo), AOC (aleno óxido ciclasa), ERP1 (proteína de respuesta a etileno), ACCO (aminociclopropano carboxilato oxidasa), PtoR1 (proteína de respuesta a patógeno), SOD (superóxido dismutasa) y PR1 (proteína relacionada a patogénesis). M, marcador de tamaño molecular 100 pares de bases, G+, ADN genómico de plantas de tomate como control externo separados en geles de agarosa al 2%.	115
Figura 83. Expresión relativa del gen que codifica para Aleno óxido ciclasa (AOC) mediante RT-PCR semicuantitativo.....	117
Figura 84. Expresión relativa del gen que codifica para proteína relacionada a patogénesis 1 (PR1) mediante RT-PCR semicuantitativo.	118
Figura 85. Expresión relativa del gen que codifica para la proteína de respuesta a etileno 1 (ERP1) mediante RT-PCR semicuantitativo.	119
Figura 86. Expresión relativa del gen que codifica para la enzima aminociclopropano carboxilato oxidasa (ACCO) mediante RT-PCR semicuantitativo.	120

Figura 87. Expresión relativa del gen que codifica para Proteína de respuesta a *Pseudomonas syringae* pv. tomato R1 (PtoR1) mediante RT-PCR semicuantitativo..... 121

Figura 88. Expresión relativa del gen que codifica para la enzima Superóxido dismutasa (SOD) mediante RT-PCR semicuantitativo. 122

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), perteneciente a la familia de las solanáceas, su origen es de América del Sur. México es considerado el centro de domesticación de esta hortaliza. El tomate es una de las hortalizas de mayor importancia por la que ocupa el segundo lugar en hectáreas sembradas, en agricultura protegida superando las 15,000 ha, con rendimientos entre las 100 y 500 ton/ha al año, en función del nivel de tecnificación del invernadero (Sandoval, 2005; SIAP, 2022). Su producción es a nivel nacional, pero en tres estados se concentra la mayor producción, el principal estado de esta hortaliza es Sinaloa con el 60.9%, las entidades que les siguen son Baja California con 7.8% y Sonora con 5.2% (SADER & SIAP, 2023). El cultivo de tomate en agricultura protegida representa el 70% de hectáreas cultivadas (INEGI, 2018). México a nivel mundial está en la posición número 10 en hectáreas cosechadas (FAOSTAT, 2021).

En la fase inicial del crecimiento del tomate, es fundamental asegurar un suministro adecuado de nutrientes esenciales, entre los cuales el fósforo (P) destaca por su importancia, este elemento que participa en procesos de transferencia de energía, respiración y fotosíntesis (Marschner, 2012); es un componente esencial del ADN y ARN, forma parte de las moléculas de transferencia energética (ADP y ATP), e interviene en la división celular (Kalaji *et al.*, 2014). Para las plantas de tomate el nitrógeno disponible (N) es la principal limitante, que junto con el fósforo (P) determinan el desarrollo vegetal en el cultivo de tomate (Cerón y Aristizábal, 2012). El fósforo (P) es absorbido en formas específicas como el anión fosfato (PO_4^{-3}) u ortofosfato (HPO_4^{-2} y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$), estas muestran complicaciones de disponibilidad en el suelo dependiendo de sus condiciones (Hawkesford *et al.*, 2012).

Actualmente las innovaciones desarrolladas para mejorar la entrega y eficiencia del fertilizante, es el uso de biopolímeros para el recubrimiento del fertilizante, que permite una liberación lenta del nutriente, prolongado su disponibilidad en el suelo y asegurando una absorción más eficiente por parte de las plantas (Zhang *et al.*, 2000). La tecnología de encapsulamiento implica envolver los nutrientes en una capa de material biodegradable que controlan la tasa de degradación y liberación de los nutrientes, este método asegura que los nutrientes sean liberados en sincronía con las necesidades de las plantas, maximizando la absorción y minimizando las pérdidas (Naz & Sulaiman, 2016). Los mecanismos de

liberación, generalmente se basan en tres pasos principales: absorción de agua, disolución de los nutrientes y difusión. Primero, el material que forma la capa, absorbe agua del suelo donde después el agua se difunde lentamente a través de la capa biopolimérica y disuelve a los nutrientes; de esta manera, el fertilizante se libera lentamente hacia el suelo a través de los poros del material envolvente (Nedovic & col., 2011). Los fertilizantes encapsulados representan una innovación significativa en la agricultura, ofreciendo una solución eficaz para la liberación controlada de nutrientes, que mejora la eficiencia de los insumos agrícolas, reduce el impacto ambiental y mejora la salud del suelo beneficiando la actividad microbiana (Trenkel, M. E. 2010).

En los ecosistemas se establecen diversas interacciones ecológicas entre los organismos, las plantas establecen interacciones benéficas con bacterias y hongos presentes en la rizósfera, el rizoplasma y la filósfera (Andrews & Edwards 2012). Estos microorganismos, incluidos hongos micorrícicos arbusculares (HMA) absorben fósforo (P) y otros minerales esenciales del suelo, debido a la liberación de enzimas por parte del hongo (Riaz & Fang, 2021). Casi el 90% de las especies de plantas, incluidas las plantas con flores y helechos, pueden desarrollar conexiones interdependientes con los HMA (Zhu et al., 2010; Ahanger et al., 2014). Los hongos micorrícicos arbusculares favorecen el crecimiento de las plantas hospedantes ante condiciones de estrés, al mediar una serie de eventos de comunicación complejos entre la planta y el hongo que conduce a una mayor gasta de fotosintatos y otros rasgos relacionados con el intercambio de gases (Birhane et al, 2012). Favorecen a una mayor absorción de agua y nutrientes al incrementar el área radicular, así como una mayor resistencia a una variedad de estreses que incluyen sequía, salinidad, temperatura, metales y enfermedades (Rodríguez et al., 2008; Ahanger et al 2014; Salam et al., 2017). Otro microorganismo benéfico que se asocia con las raíces de las plantas, son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, estas ejercen un efecto benéfico en las plantas mejorando el crecimiento, nutrición y mecanismos para resistencia contra patógenos (Gravel et al., 2007; Copetta et al., 2011). Las rizobacterias mejoran los mecanismos de defensa en las plantas por el proceso denominado resistencia sistémica inducida (RSI), mecanismo de defensa contra una amplia variedad de fitopatógenos e insectos fitófagos (Pieterse et al., 2014). Las rizobacterias a través de la RSI fortifica la pared celular, así como cambios fisiológicos y bioquímicos en la planta, lo que conduce a la síntesis de productos

químicos de defensa contra diversos patógenos, incluyendo los necrotróficos (Reddy, 2014). Los patógenos necrotróficos entran a la planta a través de heridas o de tejido muerto, matan y se alimentan de células muertas, como es el caso de las bacterias fitopatógenas del género *Pectobacterium*, estas bacterias pueden infectar tejidos vegetales y descomponerlos, causando síntomas como marchitez, necrosis y descomposición de los tejidos (Toth, 2003). Una nueva cepa de *Pectobacterium*, se aisló y caracterizó en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) en México, las cuales presentaron clorosis tisular y pudrición blanda en las hojas (Valenzuela-Soto et al., 2015). El mecanismo de infección se caracteriza principalmente debido a la producción de enzimas degradativas que descomponen las paredes celulares y proteínas estructurales (Charkowski, A. O. 2018). La presencia del patógeno en la planta activa diversas respuestas de defensa, estas respuestas incluyen la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), la acumulación de ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA), etileno (ET), y la expresión de genes relacionados con la patogenicidad (PR), (Jones, J. D. G. 2006). De esta forma, los microorganismos patógenos y benéficos modifican la red de señales de defensa en las plantas modificando los niveles de las fitohormonas: SA, JA y ET (Glazebrook, 2005; Barna *et al.*, 2012; Vos *et al.*, 2015). Estos promueven la expresión de genes específicos de defensa, que preparan a la planta para reaccionar más eficientemente ante el ataque de algún patógeno (Canchignia et al., 2015).

ANTECEDENTES

I.1 Cultivo de tomate en México

En México, la mayor parte de la producción de hortalizas en invernaderos se destina al cultivo de tomate, debido a las ventajas agronómicas que se tienen por el aumento en el rendimiento y adaptabilidad a diversos sistemas de producción (Sánchez-del Castillo et al., 2010). Además de su importancia económica, destaca por su importancia nutricional por ser fuente de vitaminas como A, B1, B2 y C, minerales y antioxidantes (SADER, 2022). La actividad agrícola es de gran importancia para la economía, de las 198 millones de hectáreas del territorio Mexicano el 15 % es de uso agrícola, México es un importante exportador de frutas y hortalizas, el tomate ocupa el segundo en exportación (Secretaría de Economía, Gobierno de México, 2022), es de las especies hortícolas más cultivadas en cielo abierto como en invernadero, estimando rendimientos de 3.72 millones de toneladas al año, en función del nivel de tecnificación del invernadero (Sandoval, 2005., SIAP, 2022).

I.2 Generalidades del cultivo de tomate

El tomate, conocido como *Solanum lycopersicum* L, es una planta originaria de América del sur, específicamente de la región andina. Es una de las hortalizas más importantes y ampliamente cultivadas en el mundo debido a su versatilidad culinaria y su valor nutricional (Rick, 2018). A continuación, se presentan algunas de las características principales del tomate:

Fruto. El tomate es técnicamente una fruta, aunque en la cocina generalmente lo consideran y se utiliza como una hortaliza, debido a su sabor ligeramente ácido y su uso en platos salados.

Variedades. Existen numerosas variedades de tomates que varían en tamaño, forma, color y sabor. Algunas variedades más comunes incluyen tomates cherry, los tomates de ciruela, los tomates beefsteak y los tomates roma, entre otros.

Color. Los tomates pueden ser de diversos colores, incluyendo rojo, amarillo, naranja, verde e incluso morado. El color rojo intenso es el más común y está asociado con

un alto contenido de licopeno, un antioxidante que se cree tiene varios beneficios para la salud.

Nutrientes. Los tomates son una importante fuente de nutrientes esenciales, incluyendo vitamina C, vitamina K y folato. También contiene compuestos bioactivos como el licopeno y la luteína, que se han relacionado con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas como cardíacas.

Cultivo. El tomate es una planta anual que se cultiva en una amplia variedad de climas, desde regiones tropicales hasta templadas. Se cultiva mejor en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica, y requiere pleno sol para un óptimo crecimiento y desarrollo.

Polinización. Aunque los tomates pueden auto fecundarse, la polinización por insectos como las abejas aumenta la calidad y la cantidad de frutos producidos.

Cosecha y almacenamiento. Los tomates se cosechan cuando están maduros, lo que se determina por su color y firmeza. Una vez cosechados, los tomates maduros deben almacenarse a temperatura ambiente y consumirse dentro de unos días para obtener el mejor sabor y textura.

Usos culinarios. El tomate es un ingrediente fundamental en muchas cocinas de todo el mundo. Se utilizan frescos en ensaladas, salsas, sopas, guisos y como acompañante de diversos platos. También se pueden secar, enlatar o triturar para su uso posterior.

Estas características destacadas del tomate muestran su importancia tanto desde el punto de vista culinario como nutricional. Su versatilidad y valor nutricional lo convierten en un alimento fundamental en muchas dietas en todo el mundo.

I.3 Taxonomía y clasificación

Clasificación taxonómica del tomate, (Peralta & Spooner, 2005).

1. Reino: Vegetal
2. División: Tracheophyta
3. Subdivisión: Pterostida
4. Clase: Angiosperma
5. Subclase: Dicotyledoneae
6. Grupo: Metachlamydae
7. Orden: Solanales
8. Familia: Solanaceae
9. Género: Solanum
10. Especie: *Solanum lycopersicum* L.

I.4 Fertilización

La fertilización es una de las practicas más importantes, ya que permite sustentar una producción alta y de calidad, los fertilizantes son materiales orgánicos o inorgánicos de origen natural o sintético que se adicionan al suelo para abastecer uno o más nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Bhandari, 2014), de esta manera, la fertilización como fuente de nutrientes es un factor clave en la producción de cultivos (González., 2015). La nutrición del tomate requiere de los 16 elementos esenciales para su optimo crecimiento (Jasso, 2011). Los elementos esenciales están divididos en no minerales (Carbono, Hidrogeno y Oxigeno) y minerales (Macro elementos: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre; Micro elementos: Manganeso, Fierro, Cobre, Zinc, Cloro, Boro y Molibdeno) que se consideran constituyentes del suelo, es importante proporcionar a las plantas una mezcla equilibrada de estos nutrientes para garantizar un

crecimiento saludable y una producción óptima de frutos. El manejo adecuado de la fertilización, junto con un monitoreo del estado nutricional de las plantas, es fundamental para optimizar el rendimiento y calidad (Velasco et al., 2011). La mezcla de fertilizantes para hacer solución nutritiva es una práctica común y esencial en la agricultura moderna para suministrar los nutrientes necesarios para el desarrollo vegetativo de la planta, estos deben estar en forma asimilable y en concentración y proporción adecuada (Burgueño, 2002).

I.4.1 Problemática por el uso de fertilizantes

Los fertilizantes químicos han contribuido al rendimiento de los cultivos, aumentando la producción de alimentos en el mundo (Espinosa, 2009). La agricultura convencional depende de los fertilizantes minerales solubles, para obtener un mayor rendimiento. Sin embargo, el uso excesivo de estos a llevado a problemas como la eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (Wang., 2018) Los efectos negativos de los fertilizantes en el agua son: la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos a través de la escorrentía y la lixiviación. Los nutrientes en exceso, como el N y P, pueden provocar la eutrofización, un proceso que causa un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, agotando el oxígeno del agua y dañando los ecosistemas acuáticos (Schindler., 2006). El uso excesivo de fertilizantes afecta la calidad del suelo, reduciendo su fertilidad a largo plazo. La acidificación del suelo, la salinización y la pérdida de materia orgánica son algunas de las consecuencias de la aplicación excesiva de fertilizantes (Lal R., 2004). Con todas las problemáticas mencionadas, se han registrado estudios, con trabajos de restauración de suelos, conservación de suelos, incorporación de materia orgánica, uso de biofertilizantes, técnicas de cultivo semiforzados, uso de sistema de riego por goteo, así como sustituir fertilizantes, por otros que contaminen menos el suelo, etc. Estos trabajos se centran en el uso eficiente de los recursos naturales que intervienen en el desarrollo y crecimiento de las plantas, con el propósito de continuar produciendo alimentos sin afectar a las futuras generaciones, este enfoque se le conoce como agricultura sustentable, ya que es un sistema

que integra un conjunto de técnicas que abarca los aspectos económicos, sociales y ecológicos (Altieri & Nicholl, 2000).

El avance de la tecnología desarrolla técnicas que minimicen el uso de fertilizantes, pero al mismo tiempo se optimicen rendimientos, una estrategia para mejorar la eficiencia de la entrega de nutrientes a las plantas y reducir la pérdida de nutrientes al medio ambiente es la encapsulación de fertilizantes (Hassanien & Mahdy, 2021). La función del encapsulamiento es reducir la fijación del nutriente en el suelo, para proporcionar una liberación adecuada que esté disponible para una buena absorción por la planta (Jin et al., 2010).

I.4.2 Fertilizantes encapsulados

El concepto de fertilizantes encapsulados comenzó a desarrollarse en la década 1960, el objetivo es mejorar la eficiencia de la entrega y frecuencia de aplicación de nutrientes, para encapsular se usaron materiales simples como resinas o cera, lo que permitía la liberación lenta (Shoji & Kanno 1994). La característica de liberación lenta de nutrientes utilizados en la agricultura, mejora la eficiencia de los fertilizantes y reduce el impacto ambiental (Trenkel M. E., 2010). Las tecnologías de encapsulamiento de fertilizantes están diseñadas para reducir pérdida por lixiviación, lo que prolonga que el nutriente esté disponible por más tiempo para la planta (Navarro & Guajardo et al., 2018). Lo anterior consiste básicamente en generar partículas de fertilizantes o activos biológicos biodegradables que sirve como cápsula de protección y vehículo, esto minimiza el impacto ambiental al reducir la lixiviación, volatilización y degradación de lo fertilizantes. La liberación ocurre en respuesta a varios parámetros como temperatura, humedad, cambio en la acidez del suelo (Roy & Singh 2014).

Los encapsulados mejoran la eficiencia y en estos se utilizan sustancias de origen natural como agente encapsulante: almidón de papa o maíz, cera de candelilla, quitosano, e incluso residuos de bagazo de café (Pérez & Torres, et al., 2018). El proceso de encapsulamiento afronta la problemática de nutrientes que están en bajas cantidades o están

en forma no asimilable para la planta, lo que genera problemas en cultivos, bloqueando su crecimiento y generando desequilibrios fisiológicos.

Uno de los nutrientes que a menudo presenta este problema es el fósforo, este elemento tiene baja disponibilidad en el suelo y puede ser limitada debido a su baja movilidad. Esto se debe a varias razones, incluidas sus interacciones con los componentes del suelo y su tendencia a formar compuestos insolubles, normalmente está presente en formas que no son fácilmente disponibles para las plantas (Kaur, 2017). Mediante la encapsulación en polímeros biodegradables, se logra una liberación lenta y sostenida del fósforo, sincronizada a las necesidades de las plantas. Actualmente los trabajos reportados en el uso de fertilizantes encapsulados, se diferencian por el uso de materiales de recubrimiento, los cuales son seleccionados y diseñados en cantidades específicas para optimizar la liberación (Kumar R., et al 2021).

I.4.3 Aspectos sobre el encapsulamiento de compuestos

El micro-encapsulamiento es un proceso en la que pequeñas partículas que contienen un agente activo son encapsuladas por un recubrimiento compuesto de un material diferente al agente activo para formar una cápsula. Esto permite la protección del nutriente contra condiciones ambientales o características del suelo, que proporcionan una disminución en la tasa de liberación de estos agentes (Díaz & Gamboa., 2011). Se han investigado una amplia variedad de partículas en el campo del micro-encapsulamiento, incluyendo adhesivos, agroquímicos, sabores, enzimas activas, fármacos, fragancias, etc., (Thies, 2002). Existen varios materiales que se utilizan para el encapsulamiento de compuestos, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones (Arwal, 2021). En resumen, el propósito del encapsulamiento es estabilizar un agente activo y controlar su tasa de liberación para eficientizar el uso de fertilizantes minimizando los impactos ambientales.

I.4.4 Morfología de micro-cápsulas

La morfología de las micro-cápsulas depende principalmente del agente activo y del proceso de deposición de la capa. Algunas de las principales morfologías de las micro-cápsulas que pueden ser obtenidas son las siguientes (Sri et al., 2012):

- 1) Mononuclear: las micro-cápsulas contienen la capa alrededor del núcleo (agente activo).
- 2) Polinuclear: las micro-cápsulas contienen muchos núcleos rodeados de una misma capa.
- 3) Encapsulamiento en una matriz: en este el material núcleo se distribuye homogéneamente en el material capa.

La aplicación del micro-encapsulado esta usualmente definido por la permeabilidad. Las microcápsulas con paredes impermeables son usadas donde se requiere el aislamiento de los agentes activos, seguidos por una rápida liberación bajo ciertas condiciones. Las microcápsulas donde las paredes son permeables lo que permiten una liberación prolongada de los agentes activos al ambiente (Sri et al., 2012).

I.4.5 Métodos de encapsulamiento

El incremento en tecnologías de encapsulamiento ha avanzado en los últimos años. Una gran variedad de técnicas se ha reportado para la micro-encapsulación, estas se dividen en dos categorías: La primera, se usan materiales monómeros o pre-polímeros; en estos métodos participan en reacciones químicas a lo largo de la formación de la micro-cápsula. En la segunda, los materiales iniciales son polímeros, por lo que no hay una reacción química involucrada durante la formación de la micro-cápsula (Dubey et al., 2009). Existen dos técnicas más usadas para el proceso de micro-encapsulados son: spray coating, coacervación, evaporación de solventes, gelificación iónica, liposomas, spray drying y spray chilling (Okuro et al., 2013). Generalmente el método de micro-encapsulamiento depende de la naturaleza del material a encapsular y del material encapsulante. A continuación, se describe el método utilizado para encapsular el fertilizante que se usó en este trabajo.

I.4.5.1 Spray chilling

En la tecnología de Spray chilling se utiliza un sistema a base de materiales de bajo punto de fusión. Esta técnica involucra la adición de un componente de interés a una matriz en estado fundido, donde la mezcla resultante se alimenta a través de una boquilla atomizadora. Cuando el material atomizado se pone en contacto con el ambiente, el cual es enfriado por debajo del punto de fusión del material matriz, la matriz se solidifica (debido al intercambio de calor entre el material fundido y el aire frío), formándose las partículas sólidas. (Okuro et al., 2013). El procesado de los agentes activos mediante esta tecnología de micro-encapsulamiento reduce su higroscopicidad, cambia su solubilidad y le proporciona protección física, permitiendo una liberación lenta-controlada de estos agentes. En la técnica de Spray chilling, la matriz se calienta por encima de su punto de fusión, se mezcla con el ingrediente activo, y se atomiza a una cámara de enfriamiento. Un factor importante a considerar durante el atomizado es la cristalización de la matriz, debido a que es común que esta matriz presente un polimorfismo, lo que influye significativamente en los mecanismos de liberación del agente activo (Kirk & Othmer, 2008).

Generalmente produce microesferas tipo matriz, las cuales son densas y de geometría esférica. Se utiliza principalmente para producir agentes activos rodeados por una capa lipídica o cerosa. Entre las variables clave para lograr características óptimas en el encapsulamiento, esto reduce la viscosidad del material encapsulante y la velocidad de atomización. El desempeño del Spray chilling depende específicamente de la atomización de la mezcla fundida (Okuro et al., 2013). La eficiencia de la atomización, a su vez, está en función de los diferentes tipos de dispositivos que pueden ejercer la atomización. Estos dispositivos pueden ser boquillas de presión, atomizadores centrífugos, atomizadores rotatorios, atomizadores de fluidos duales o atomizadores ultrasónicos.

I.4.5.2 Spray drying

La técnica de Spray drying consiste de un proceso rápido, continuo, de alto costo-beneficio, reproducible y escalable para la producción de polvos secos a partir de un material fluido, el cual es atomizado por una boquilla hacia un medio de aire de secado a alta temperatura (Sosnik & Seremeta, 2015). El producto que se obtiene mediante la utilización de esta tecnología generalmente es de menor tamaño que el que se obtiene mediante Spray chilling, debido a que la mayor parte del producto se recolecta de la fracción ciclón (Flores & Kong, 2017). Para el encapsulamiento se pueden utilizar materiales tanto hidrofílicos como lipofílicos, incluso se pueden realizar combinaciones de materiales encapsulantes. Esta técnica es una de las más tradicionales para el encapsulamiento de aromas y sabores, y recientemente se ha extendido su aplicación a sustancias bioactivas (Alvim et al., 2016). A pesar de que esta técnica se utiliza principalmente para el encapsulamiento de agentes activos, también es posible utilizarla para pulverizar agentes activos y cambiarle sus propiedades físicas, como solubilidad, tamaño y cristalinidad (Sosnik & Seremeta, 2015).

Aún cuando la técnica de Spray chilling y la de Spray drying pueden llevarse a cabo en el mismo equipo con algunas modificaciones, se obtienen micro-encapsulados con diferentes características, se presenta un cuadro con las diferencias principales entre estas dos técnicas:

Cuadro 1. Diferencias entre las técnicas de Spray Chilling y Spray Drying (Okuro et al., 2013).

	Spray drying	Spray chilling
Flujo de energía	La energía se aplica en la gota, induciendo la evaporación del medio.	La energía se remueve en la partícula, induciendo la solidificación del medio.
Equipo	Tubos de alimentación sin calor	Tubos de alimentación calentados
Flujo en la cámara	Aire caliente	Aire frío
Tamaño de partícula	5 – 150 μm	20 – 200 μm
Mecanismos de disolución	Disolución	Difusión, calentamiento

Morfología de la particular	Partículas geométricas con superficie irregular y porosa debida a la evaporación del solvente.	Densa, esférica y de superficie lisa.
Vehículo	Polímeros solubles en agua	Ceras, ácidos grasos, polímeros solubles en agua y monómeros insolubles en agua.
Etapas de procesos	Dispersión o disolución del agente activo en una solución acuosa, atomización y deshidratación.	Dispersión o disolución del agente activo en la mezcla lipídica, atomización y enfriamiento.
Contenido de sólidos (%)	5 - 50	10 - 20

I.5 Fósforo en el suelo

El fósforo en el suelo se encuentra en diversas formas, incluidos compuestos orgánicos e inorgánicos, y su disponibilidad para las plantas está influenciada por factores como el pH del suelo, la textura del suelo, la presencia de microorganismos y la actividad de las raíces. Los compuestos de fósforo pueden estar en formas solubles, como los fosfatos inorgánicos, o en formas insolubles, como los fosfatos de hierro, aluminio o calcio. La baja solubilidad de estos compuestos puede limitar la disponibilidad de fósforo para las plantas, especialmente en suelo ácidos o alcalinos (Richardson & Simpson, 2011). La concentración del fósforo en el suelo se encuentra alrededor de 0.05% y solo el 0.01% está disponible para las plantas lo que hace insuficiente para el desarrollo y crecimiento de un cultivo (Tilak et al., 2005). Esta porción disponible en el suelo, es de apenas unas décimas de ppm de fósforo. Este proviene de las apatitas y depósitos de fosfato natural donde es liberado a través de la meteorización por acción de factores bióticos y abióticos, el fósforo inorgánico (Pi), se encuentra en el suelo como fosfatos de Ca, Fe, Mg y Al en las arcillas del grupo caolinitas, por lo que, al ser precipitadas o fijadas la planta no puede beneficiarse del elemento (Rincón y Gutiérrez, 2012). El fósforo asimilable es el que se encuentra en forma de iones fosfato diácido y monoácido (Silva Rossi et al., 2006).

I.5.1 El fósforo en las plantas

El fósforo tiene es importante en el desarrollo vegetal debido a que es parte de los nutrientes esenciales y es considerado después del nitrógeno el segundo en la escala de jerarquías derivado por su importancia (Nosratabada et al., 2017). Sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente, se clasifica como un nutriente primario esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, desempeñando roles fundamentales en procesos como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis de ácidos nucleicos. El fósforo es un componente esencial de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), así como del trifosfato de adenosina (ATP), la moneda energética de la célula, participa en la fosforilación de carbohidratos, lo que es esencial para la transferencia de energía en la célula, contribuye a la estructura de las membranas celulares a través de los fosfolípidos y es fundamental para el desarrollo de las raíces y la formación de flores y frutos (Lynch & Brown, 2008). El fósforo se mueve en la planta a través del xilema hacia las partes en crecimiento, donde se utiliza en diversos procesos metabólicos. Otra parte del fósforo se almacena en forma de compuestos fosfatados en los tejidos vegetales, lo que permite a la planta tener reservas de este elemento para momentos de alta demanda, como durante la floración y formación de frutos. Este almacenamiento se da en las vacuolas de las células vegetales, donde el fósforo se encuentra en forma de **fitatos**, compuestos que pueden ser reciclados y utilizados cuando la planta lo requiera.

I.5.2 Deficiencia de fósforo

La deficiencia del fósforo en las plantas es un problema común que puede afectar su crecimiento y desarrollo. El fósforo es un nutriente esencial que desempeña un papel crucial en varios procesos metabólicos, incluida la síntesis de energía, la fotosíntesis, el desarrollo de raíces y flores y la transferencia de nutrientes (Plaxton, 2011).

Síntomas de deficiencia: la deficiencia de fósforo puede manifestarse en diversas formas, incluida la coloración morada o rojiza de las hojas y tallos, detiene el crecimiento, la disminución en la producción de frutos y semillas.

Impacto en el metabolismo: puede afectar negativamente varios procesos metabólicos en las plantas, incluida la fotosíntesis, la respiración, la absorción del agua y nutrientes, y la síntesis de compuestos orgánicos como los ácidos nucleicos y los fosfolípidos.

Respuestas fisiológicas: las plantas pueden desarrollar varias respuestas fisiológicas para adaptarse a la deficiencia de fósforo, como el aumento en la actividad de las enzimas fosfatadas, la reasignación de fósforo dentro de la planta hacia los tejidos más críticos y la promoción de asociaciones simbióticas con microorganismos del suelo que pueden ayudar en la adquisición de fósforo.

I.5.3 Movilidad del fósforo

En términos de movilidad el fósforo es inmóvil, las plantas pueden absorberlo en dos formas químicas conocidas como ortofosfato primario (H_2PO_4) y ortofosfato secundario (HPO_4); las proporciones de absorción por las plantas de estas formas de fósforo está fuertemente definido por el pH, este es uno de los parámetros que se mide en el suelo ya que de ello depende la disponibilidad de los minerales, (Lara et al., 2011). Las plantas absorben compuestos fosfatados del suelo y transferirlos a los animales que las consumen. Cuando las plantas y los animales excretan desechos o mueren, los fosfatos pueden ser absorbidos por organismos detritívoros o regresar al suelo. Además, los compuestos fosfatados son transportados en los escurrimientos hacia los ríos, lagos y océanos, donde son absorbidos por los organismos acuáticos (Raven & Peter., 2014).

I.5.4 Microorganismos solubilizadores de fósforo

Los organismos involucrados en las transformaciones del fósforo en el suelo incluyen bacterias, hongos, cromista, protozoos y algunos nematodos (Awasthi y otros, 2011; Oberson & Joner, 2005; Bünemann y otros, 2011; Jones & Oburger, 2011). En general, los microorganismos del suelo facilitan el ciclo del fósforo mediante procesos de mineralización, inmovilización y solubilización, que están involucrados en su metabolismo nutricional. Dado que las fuentes orgánicas no se utilizan directamente para la nutrición microbiana, éstas deben primero hidrolizarse por la acción de enzimas fosfatasas, que son producidas y secretadas en el suelo por los microorganismos (Singh & Satyanarayana, 2012). La revisión de Nannipieri y otros (2011) analiza exhaustivamente la naturaleza y roles de las fosfatasas

en el suelo. Los factores que afectan la mineralización e inmovilización del fósforo en el suelo se incluyen la composición química de la materia orgánica y su reactividad asociada, la cantidad de P, la proporción C:P y N:P de los materiales orgánicos, la temperatura, la humedad, la aireación, el pH, la intensidad de cultivo y la fertilización con P (Condrón, 2004; Sims & Vadas, 2005). Además de mediar procesos clave en el ciclo biogeoquímico del fósforo, los microorganismos constituyen una reserva importante de fósforo en el suelo (Chuang y otros, 2007).

La solubilización del fósforo del suelo es el proceso mediante el cual las reacciones de precipitación se revierten, liberando fósforo en la solución del suelo, mediado generalmente por la acción metabólica de los microorganismos y las raíces de las plantas. La capacidad de las bacterias para solubilizar fósforo se conoció hace más de un siglo (Goldstein & Krishnaraj, 2007), y Gerretsen compiló en una revisión de 1948 (Gerretsen, 1948), lo que se conocía hasta entonces. Durante las décadas siguientes, varios estudios pusieron en evidencia la capacidad solubilizadora de fosfatos de: *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Serratia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aereo-bacter*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Rhodobacter*, *Pantotea* y *Klebsiella*, entre las bacterias y, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Fusarium* entre los hongos (Awasthi y otros, 2011; Khan y otros, 2007; Sharan y otros, 2008; Khan y otros, 2010; Zaidi y otros, 2009). Los microorganismos solubilizadores de fósforo pueden incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo en un rango de 10% a 30% dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo del suelo. La inoculación de microorganismos solubilizadores de fósforo puede aumentar el crecimiento y rendimiento de cultivos en un rango de 10% a 50%, dependiendo del tipo de cultivo y las condiciones del suelo (Jiang Tian et al., 2021). Los hongos y bacterias tienen un papel crucial en la liberación del fósforo, siendo especialmente eficaces en la solubilización de fosfato (Tilak et al., 2005). Otra de las características que se les atribuye a los microorganismos es que aumentan el área superficial de las raíces, lo que mejora la absorción del fósforo disponible y agua del suelo (Richardson, 2001).

I.6 Hongos micorrícicos arbusculares

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), también conocidos como micorrizas arbusculares, son un tipo de simbioses mutualistas que establecen asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas. Estos hongos forman estructuras especializadas llamadas arbuscúlos dentro de las células de la raíz, lo que facilita el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. Los HMA son ampliamente reconocidas por su papel en la mejora de la captación de nutrientes, específicamente el fósforo, así como en la promoción del crecimiento y la resistencia a diversas condiciones abióticas y bióticas (Ma & Zhang, 2020). El ciclo de vida de los HMA implica una serie de etapas que comprenden desde la colonización de las raíces de las plantas hasta la producción de esporas para dispersión y la colonización de nuevas plantas. En la asociación simbiótica las hifas se ramifican y penetran en las células de la raíz o forman una red externa alrededor de las raíces (Smith & Read, 2008). Se desarrollan estructuras especializadas para facilitar el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta, se forman arbuscúlos dentro de las células de la raíz (Parniske, 2008). Estas estructuras permiten el intercambio de nutrientes con la planta, los HMA pueden proporcionar a la planta nutrientes como fósforo, nitrógeno y micronutrientes, mientras que la planta puede proporcionar carbohidratos y otros compuestos orgánicos al hongo (Smith & Read, 2008). Durante ciertas etapas del ciclo de vida, los HMA producen esporas para la dispersión y la colonización de nuevas plantas. Las esporas pueden estar contenidas dentro de estructuras especializadas llamadas esporocarpios o pueden liberarse al suelo para su dispersión por el viento, el agua o los animales (Brundrett, 2002), las esporas producidas pueden germinar y colonizar las raíces de nuevas plantas, comenzando así un nuevo ciclo de vida.

I.6.1 Mecanismos de colonización

El proceso de colonización de las micorrizas ocurre en la interacción de los HMA con las raíces de las plantas, donde establecen una simbiosis mutualista con las plantas hospedadoras, el proceso comienza cuando las hifas del hongo detectan las raíces de la planta hospedadora, este reconocimiento inicial puede involucrar la liberación de compuestos químicos por parte de las raíces de las plantas, como las exudaciones de raíces, que atraen a los hongos hacia las raíces (Bonfante, 2010). Una vez que las hifas del hongo han colonizado

las raíces de la planta, comienzan a formar estructuras especializadas para facilitar el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. Este proceso es crucial para el establecimiento de la simbiosis mutualista entre los HMA y las plantas hospedadas, desempeñan un papel fundamental en la mejora de la captación de nutrientes y el crecimiento de las plantas (Gutjahr, 2013).

I.6.2 Beneficios de los HMA

Los hongos micorrícicos aumentan la absorción de nutrientes esenciales para las plantas, como fósforo, nitrógeno, potasio, zinc y otros micronutrientes. Esta mejora se debe a la extensión del área de absorción de la raíz y a la capacidad de movilizar nutrientes en el suelo hacia las raíces de las plantas (Smith & Read, 2008). Ayudan a tolerar mejor las condiciones adversas como sequía, altas temperaturas y suelo pobres, los HMA mejoran la capacidad de absorber agua y nutrientes, lo que las hace más resistentes a condiciones ambientales extremas. (Augé., 2001). Estas promueven la resistencia a enfermedades al activar mecanismos de defensa, compiten con patógenos por nutrientes y producen compuestos antimicrobianos, reducen la incidencia de enfermedades del suelo mejorando la salud de la planta (Pozo et al., 2007). Estos tienen un rol importante en la promoción de la diversidad microbiana del suelo al establecer relaciones simbióticas con una variedad de hongos y bacterias beneficiosas, lo que contribuye a la salud del suelo y al ciclo de nutrientes (Van Der Heijden et al., 2008).

I.6.3 HMA y absorción de fósforo

Al formar una asociación simbiótica con las plantas los HMA pueden reducir la competencia por fósforo con otras especies vegetales o microorganismos en el suelo, esta reducción de la competencia permite a las plantas asociadas acceder de manera más efectiva al fósforo disponible en el suelo. (Smith & Read, 2008). También pueden secretar ácidos orgánicos, como el ácido cítrico y el ácido málico, que tiene la capacidad de disolver los compuestos de fósforo insoluble en el suelo, convirtiéndolos en formas solubles, estas pueden producir enzimas fosfatasas que descomponen los compuestos orgánicos y minerales del suelo que contiene fósforo, liberando para su absorción, además pueden captar fósforo de formas inorgánicas poco solubles, como fosfatos de hierro y aluminio, y hacerlos disponibles

para las plantas (Richardson & Lynch, 2011). Por lo tanto, durante la simbiosis la planta cambia su estrategia de adquisición de fósforo por la de HMA, estudios fisiológicos han demostrado que la cantidad absoluta de fósforo obtenida a través de los HMA se correlaciona mejor con la abundancia de hifas extrarradicales (Yao et al., 2001).

I.7 Rizobacterias promotoras del crecimiento

La expresión Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) fue acuñada por J. W. Kloepper y M. N. Schroth en 1978, para describir las bacterias que habitan la rizosfera y que benefician el desarrollo de las plantas (Labra et al., 2012). Estas bacterias tienen la capacidad de colonizar el sistema radicular para favoreciendo su crecimiento y rendimiento (Berendsen, Pieterse & Bakker, 2012). Las PGPR ejercen efectos benéficos en las plantas a través de mecanismos directos e indirectos, o una combinación de ambos (Aguado et al., 2016). Los mecanismos directos se producen cuando las bacterias sintetizan metabolitos que ayudan a las plantas, o cuando aumentan la disponibilidad de nutrientes, esenciales para su metabolismo y desarrollo vegetal (Gómez et al., 2012). Entre los mecanismos directos destacan: 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 una capa permeable en la raíz, la producción de nitritos, la acumulación de nitratos, la desintoxicación de metales pesados y la actividad de la enzima ACC desaminasa, la secreción de sideróforos, la reducción de los niveles de etileno en los suelos (Esquivel et al., 2013). Mientras que los mecanismos indirectos se caracterizan porque las PGPR reducen o eliminan microorganismos fitopatógenos a través de diversos métodos, como la producción de sustancias antimicrobianas o de antibióticos, de enzimas líticas o una combinación de éstas; que compiten por nutrimentos o espacio en el nicho ecológico, así como por la estimulación de defensas naturales de la planta mediante mecanismos de biocontrol; también puede inducir la resistencia sistémica (RSI) contra una amplia gama de patógenos y producir sideróforos para secuestrar el Fe disponible en los suelos y con esto limitar el desarrollo y presencia de dichos fitopatógenos; producción de antibióticos y cianuros de hidrógeno que impactan sobre los fitopatógenos (Esquivel et al., 2013).

I.7.1 Influencia de las rizobacterias promotoras del crecimiento en la absorción de fósforo

La solubilización de fosfatos por parte de las PGPR es un proceso importante en el ciclo del fósforo en el suelo y juega un papel crucial en la disponibilidad de este nutriente para las plantas, ya que este proceso implica la conversión del fósforo insoluble presente en el suelo en formas solubles que las plantas pueden absorber y utilizar (Puente et al., 2004; Rodríguez et al., 2006). La solubilización de fosfato por las PGPR lo realizan secretando ácidos orgánicos como ácido cítrico, ácido acético y ácido oxálico. Estos ácidos pueden quelar iones metálicos en los fosfatos, lo que resulta en la liberación de fósforo en formas solubles. Otras producen enzimas como fosfatasas ácidas y alcalinas, que catalizan la liberación de fósforo al hidrolizar los ésteres de fosfato orgánico presentes en el suelo (Suleman & Yasmin, 2018).

I.7.2 Resistencia sistémica inducida

La resistencia sistémica inducida (RSI) se basa en la activación de los mecanismos de defensa naturales de las plantas antes que un patógeno ataque. Este tipo de resistencia en plantas es comparable a la "inmunización o vacunación" en los seres humanos, a diferencia que el estado inducido para un único patógeno, sino que aumenta la resistencia de la planta contra diversos patógenos (Kue, 2017). En el reconocimiento, la interacción entre un patógeno particular y una especie de planta es específica e invariable. Se activan las defensas de las plantas ante el reconocimiento de las moléculas efectoras del patógeno. Inmediatamente comienza la respuesta de la planta con el aumento de la expresión de genes de defensa comenzando con: a) el fortalecimiento de las paredes celulares por la producción de ligninas y la formación de callosa, b) se intensifica la producción de fitoalexinas, y c) se induce la producción de proteínas antimicrobianas como las quitinasas, β -1,3-glucanasas o peroxidasas (Faoro & Gozzo., 2015). El incremento de la expresión de los genes de defensa está regulado por moléculas de señalización como el ET, el AS y el AJ (Pieterse & Zamioudis., 2014).

Las interacciones entre las vías de señalización están reguladas por dos tipos de resistencia sistémica, la resistencia sistémica adquirida (RSA, mediada por AS) y la Resistencia Sistémica Inducida (RSI, mediada por AJ y ET). Las investigaciones sugieren que las vías de señalización de los jasmonatos y el etileno suelen cooperar entre sí, siendo generalmente antagonistas a la vía de señalización de AS (Pieterse & Zamioudis., 2014). Se ha demostrado que la RSI es independiente del ácido salicílico (AS), pero requiere la señalización del ácido jasmónico (AJ) y el etileno (ET), y no involucra la síntesis de proteínas relacionadas con la patogenicidad (Beneduzi & Ambrosini., 2012). Las hormonas de AJ y ET transducen los estímulos extracelulares reconocidos por receptores de la célula a un gran número de moléculas blanco que, conjuntamente generan respuestas intracelulares altamente específicas al estímulo externo (Jankiewicz & Koltonowicz., 2012).

I.7.3 Resistencia sistémica adquirida

Las plantas pueden defenderse de futuros ataques de patógenos si han sobrevivido a una infección inicial por virus, bacterias u hongos patogénicos. Se cree que esta primera infección, inmuniza a la planta contra infecciones posteriores. La primera expresión de resistencia inducida por el patógeno se manifiesta en la reacción de la planta ante infecciones subsiguientes, esta respuesta es conocida como resistencia sistémica adquirida (RSA). Esta tiene distintas vías de transducción de señales que tiene un rol importante los mecanismos de la planta para defenderse contra los patógenos (Vlot & Dempsey., 2009). Dos características de RSA son: es efectiva ante diversos patógenos y es a largo plazo. Se activan respuestas de defensa en toda la planta, como la acumulación de compuestos como fitoalexinas, proteínas antifúngicas y activación de genes de defensa (Pieters & Zamioudis., 2014). El tiempo y grado de protección de SAR depende de la especie vegetal y del inductor, la SAR se caracteriza por la acumulación de proteínas y de ácido salicílico (AS) o de ácido jasmónico (AJ) a nivel local y sistémico (Grant & Lamb., 2006).

I.7.4 Vías de señalización

La RSI mediada por rizobacterias puede activar mecanismos de defensa inducidos en la planta que son similares a aquellos observados en las interacciones incompatibles con microorganismos patógenos (García GI & Zeriuoh H., 2013). Las vías de señalización del AJ

y el ET se activan inmediatamente después del reconocimiento entre las bacterias benéficas y la planta (Faoro F & Gozzo F., 2015). Tras la percepción del patógeno, se activan una serie de respuestas, activando la síntesis de hormonas, activando la ruta del AJ y ET. Esta interacción activa una cascada de señalización que involucra a diversos genes de defensa y factores de transcripción (Derksen H & Rampitschb C., 2013).

I.7.5 Vía de señalización mediada por el ácido salicílico

El AS es una molécula con un anillo aromático que contiene un grupo hidroxilo, o su derivado funcional, es un compuesto fenólico producido por una amplia variedad de organismos tanto procariotas como eucariotas, incluidas en las plantas (Thaler Js & Humphrey Pt., 2012). Las investigaciones sugieren que el AS es una molécula de señalización en la respuesta del sistema inmune de la planta, actúa durante el desarrollo de la RSA en plantas dicotiledóneas (Luna & Rivero MS., 2016). El AS es sintetizado en la planta por el metabolito primario corismato, que es transformado en isocorismato por acción de la enzima isocorismatosintasa. El isocorismato a su vez, es transformado en AS por acción de la enzima Isocorismato Piruvato Liasa (Kepinski S & Leyser O., 2003). Al percibir la señalización, el AS inicia la cascada de señalización de la resistencia sistémica a través de la activación de *NPRI*, mismo que en estado inactivo está presente en un complejo oligómero citosólico a través de enlaces disulfuro intermoleculares (Brosché M & Kangasjärvi J., 2012). Iniciando la señalización mediada por el AS, este activa a la tiorredoxina TRX-H5, conduciendo a la reducción en *NPRI*; por lo tanto, la transforma a monómeros activos que se van desde el citosol hacia el núcleo, lo que activa la expresión de genes de defensa (Tada Y & Spoel Sh., 2008).

I.7.6 Vía de señalización del etileno

La señalización de defensa regulada por ET involucra receptores específicos de esta molécula, que activa una cascada de quinasas, proteínas quinasas activadas por mitógenos (MAPK), esta señal se transmite al gen insensible a etileno-2 (*EIN2*) lo que facilita la acumulación del factor de transcripción del gen insensible a etileno-3 (*EIN3*) y promueve el factor de transcripción de respuesta a etileno (*ERF1*), a su vez regula la expresión génica en

respuesta a patógenos y reprime los genes asociados a la respuesta a heridas (Zhu L & Li Y., 2011).

El factor de transcripción *ERF* se posiciona en el penúltimo paso en la cascada de señalización de etileno, está regulada por la expresión del gen *PR*, en virtud de la unión de ADN con el codón CCG (GCCGCC) situado en los promotores de genes *PR*, tales como PRB-1b (*PR1*), β -1, 3-glucanasa (*PR2*), quitinasa (*PR3*), y osmotina (*PR5*), (Wang S & Wu H., 2009). El gen *ERF1* es inducido por las vías de señalización del AJ y ET, su inducción es dependiente de una vía de transducción de señal por ambas hormonas, lo que indica que en *ERF1* puede haber un punto de integración para AJ y ET para la regulación de los genes de defensa en respuesta a los patógenos (Pieterse CMJ & Zamioudis C., 2014).

I.7.7 Vía de señalización del ácido jasmónico

La síntesis de jasmonatos ocurre, principalmente, en las hojas, donde los ácidos grasos son liberados de la membrana plasmática de los plastidios por acción de enzimas fosfolipasas y desaturasas. La señalización por jasmonatos, es crucial para la expresión de genes de defensa en las plantas contra las plagas (Garnica Va & Raya Gj., 2012). Se observó que el gen de la proteína insensible a la coronatina (*COII*) es el componente regulador central de la vía de señalización del ácido jasmónico y se requiere para las respuestas de defensa de las plantas (Wang S & Wu H., 2009). La unión de Jasmonil-Isoleucina (JA-Ile) con el receptor *COII*, en el núcleo celular, promueve la unión de los represores de jasmonatos Dominio-ZIM (JAZ) y su ubiquitinación, esto da como resultado la liberación del factor de transcripción MYC2 y la transcripción de genes de respuesta a jasmonatos (Wang S & Wu H., 2009).

I.7.8 Interacción entre las vías de señalización de AJ/ET y AS

En la última década, numerosos estudios han demostraron que las interacciones entre la vía del ácido salicílico y la vía del jasmónico y etileno pueden tener una cooperación antagonica o una cooperación positiva mutua. Aunque la cooperación antagonica no es la más frecuente, existen informes de dicha actividad (Derksen H & Rampitschb C., 2013). Por

lo tanto, se sugiere que la planta activa una red de señalización ante la presencia de un patógeno y de su modo de patogenicidad (Thaler Js & Humphrey Pt., 2012). Estudios señalan al gen *NPRI* como regulador principal de la ruta de señalización, tanto de RSA como de RSI (Wang S & Wu H., 2009). El gen *NPRI* codifica para una proteína que es transportada al núcleo en la célula durante la respuesta RSA, esta actúa como modulador de la expresión de los genes *PR* (Villanueva & Alonzo Hj., 2013). Aquí los cambios redox inducidos como resultado de la acumulación del AS, conectan la señal del AS con *NPRI*. Este gen interactúa con un grupo de miembros de la familia de tipo cierre de leucina de región básica (bZIP), tipo factores de transcripción (TGAs), que se unen específicamente a sitios promotores de genes de respuesta al AS como *PR-1* (Choudhary Dk & Johri Bn., 2009). El rol del gen *NPRI* podría ser diferente en la RSA que en la RSI. Estas diferentes funciones de *NPRI* no son mutuamente excluyentes, ya que la acción simultánea de la RSA y la RSI aumenta la capacidad de defensa de la planta, comparado con su activación de forma independiente (Thaler Js & Humphrey Pt., 2012). En la ruta de AS, el *NPRI* se conecta a una proteína del núcleo, mientras que en la ruta mediada por AJ/ET la proteína es conectada al citosol. Sin embargo, estos mecanismos moleculares donde *NPRI* realiza esta función en la ruta AJ/ET aún no son muy claros (Tada Y & Spoel Sh., 2008).

I.7.9 Resistencia sistémica inducida por PGPR

Las rizobacterias promotoras del crecimiento puede desencadenar respuestas de defensa en las plantas mediante la inducción de la expresión de genes relacionados con la resistencia a patógenos, se activan rutas de señalización de defensa, la producción de fitoalexinas y la acumulación de compuestos antimicrobianos en la planta (Pieterse et al., 2014). La RSI puede conferir a las plantas una mayor resistencia a una amplia gama de patógenos, incluidos hongos, bacterias y virus. Esta protección puede ser duradera y sistémica, lo que significa que la planta se vuelve más resistente incluso en tejidos no tratados directamente con las PGPR (Conrath et al., 2015). Se activan la expresión de genes de defensa en las plantas, lo que conduce a la producción de proteínas antimicrobianas, péptidos antimicrobianos, fitoalexinas y enzimas que descomponen las paredes de los patógenos. Estas desencadenan respuestas de defensa a través de la activación de rutas de señalización, como la vía del ácido jasmónico (JA), el ácido salicílico (SA) y el etileno (ET), que son los

que regulan la expresión de genes de defensa y promueven respuestas inmunes (Nascimento et al., 2018). Las PGPR influyen en el equilibrio hormonal de las plantas al modular la producción y la señalización de hormonas vegetales como las auxinas, las citoquininas y el ácido jasmónico. Estas interacciones hormonales desempeñan un rol crucial en la activación de respuesta de defensa y en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas (Verbon & Liberman, 2016).

I.7.10 Resistencia inducida por micorrizas (MIR)

La MIR es un fenómeno en el cual los HMA establecen una asociación simbiótica con las raíces de las plantas y desencadenan respuestas de defensa que aumentan la resistencia de las plantas a patógenos y diversos tipos de estrés. Activan el sistema inmunológico de las plantas al inducir la expresión de genes relacionados con la defensa, esto incluye la producción de fitoalexinas, péptidos antimicrobianos y enzimas que ayudan a combatir patógenos (Campos Soriano et al., 2012). La MIR confiere mayor resistencia al inducir cambios en el metabolismo de las plantas que dificultan la colonización y el crecimiento de patógenos, lo que resulta en una reducción en la incidencia y gravedad de las enfermedades (Harrison, 2012). Estas pueden influir en el equilibrio hormonal de las plantas al modular la producción y la señalización de hormonas vegetales como el ácido jasmónico, el ácido salicílico y las auxinas. Estas interacciones hormonales desempeñan un papel importante en la activación de respuestas de defensa y en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas (Hause & Fester, 2005). Además de proteger contra patógenos la MIR también mejora la tolerancia de las plantas al estrés abiótico como sequía, salinidad y altas temperaturas. Los HMA pueden aumentar la capacidad de las plantas para resistir el estrés abiótico al mejorar la absorción de agua y nutrientes y al modular la respuesta fisiológica de las plantas al estrés (Auge et al., 2015).

II. HIPÓTESIS

La inoculación de un cultivo monoespecífico de HMA nativo del estado de Coahuila y de la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 en plantas de tomate mejorará sinérgicamente la asimilación del fertilizante micro-encapsulado MKP que a su vez inducirán la resistencia sistémica de la planta contra patógenos necrotróficos.

III. OBJETIVOS

III.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP aplicado en plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) co-inoculadas con un cultivo monoespecífico de HMA nativo del estado de Coahuila y de la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 para activar la resistencia sistémica inducida contra patógenos necrotróficos (*Pectobacterium cacticidum* FHLGJ22).

III.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto del fertilizante micro-encapsulado MKP en plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) co-inoculadas con un cultivo monoespecífico de HMA nativo del estado de Coahuila y la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51.
- Evaluar la patogenicidad en plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) co-inoculadas con un cultivo monoespecífico de HMA nativo del estado de Coahuila y la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 frente a la infección por *Pectobacterium cacticidum* (FHLGJ22).
- Identificar el posible efecto sinérgico en la resistencia sistémica inducida por la interacción de ambos microorganismos benéficos para validarlos mediante pruebas de patogenicidad y pruebas moleculares de expresión génica.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Localización del sitio experimental

La investigación se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en el área experimental agrícola en el invernadero (IBT-004), ubicado en Saltillo, Estado de Coahuila, a 25° 27' N, 101° 02' O con una altitud de 1520 msnm. En el periodo comprendido al mes de Junio – Diciembre del 2023.



Figura 1. Localización del sitio experimental, fuente (Google Earth), A) vista general CIQA, B) área experimental agrícola invernadero (IBT-004).

IV.2 Material biológico

Para este trabajo se utilizó como planta modelo el tomate *S. lycopersicum* L. variedad floradade, usando semilla de la empresa Fax de occidente S.A de C.V., Guadalajara, Jalisco. Se utilizó un cultivo monoespecífico de HMA nativo del Estado de Coahuila y la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 que se aislaron del campo experimental “Las Encinas” perteneciente a CIQA en el año 2021, ubicado en el ecosistema del Desierto Chihuahuense, en Ramos Arizpe, Coahuila. Este hongo se propagó como inóculo a base de arena/turba, relación (2.5:1 v/v) como sustrato, empleando sorgo como planta hospedante. La inoculación

del HMA nativo sobre los sistemas experimentales de tomate, se realizó con un subcultivo F3 (3^{ra} generación) del HMA de una edad de 4 meses y presentando una concentración de al menos 10 esporas de HMA por gramo de sustrato. La bacteria benéfica *Enterobacter* sp. DBA51, creció en medio LB líquido durante 24 h, después se sembró en cajas de Petri con medio LB para hacer el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC/mL). La cepa patogénica previamente aislada en el cultivo de girasol e identificada como *Pectobacterium cacticidum* FHLGJ22, creció en medio Lb líquido durante 24 h, para posterior sembrar en cajas de Petri con medio MG (Manitol glutamato), medio que activa el mecanismo de virulencia del patógeno.

IV.3 Fertilizante micro-encapsulado MKP

El fertilizante fosfórico micro-encapsulado fue previamente preparado por el Dr. Carlos Espinoza González del Departamento de Materiales Avanzados del CIQA. El encapsulado se realizó mediante un proceso de secado por aspersión llamado Spray drying, de una solución acuosa previamente formulada, la composición de esta matriz es: goma de mezquite, cera de candelilla, saponinas, ácido fúlvico, miel de maguey con mucílago de nopal y fosfato mono potásico (MKP), la composición de estos materiales y el contenido de fósforo quedó en una proporción de **45 % matriz y 55 % fertilizante**.

Proceso de Encapsulación de Fertilizantes - MX/a/2019/013504



Figura 2. Equipo Spray dryer FT-80 para el encapsulamiento del fertilizante.



Figura 3. Materiales utilizados como matriz para el encapsulamiento del MKP (fosfato mono potásico).

IV.3.1 Cantidad de fertilizante micro-encapsulado MKP a aplicar

Para la etapa de inicio/vegetativa las plantas de tomate demandan 33 kg/Ha de fósforo (FAO, Fertilizer Use by Crop, 2006). Se estima que la densidad de plantas por ha es de 33 mil, basado en esto se realiza el cálculo del fertilizante encapsulado que se aplica a cada planta, realizándose de la siguiente manera:

En la etapa de inicio/vegetativa las plantas de tomate demandan 33 kg/Ha de fósforo

Con una densidad de 33 mil plantas/ha

Entonces: $33\ 000\ \text{plantas} / 33\ 000\ \text{g de fósforo} = 1\ \text{g de fósforo por planta}$

La composición comercial del MKP fosfato mono potásico es de: N 0%, P 52%, K 34%

Si en 100 g de MKP, 52 g corresponde al fósforo, cuanto se aplica de MKP para cumplir la dosis de 1 g de fósforo/planta.

Si en 100 g de MKP ----- 52 g P₂O

1.923 g/planta de MKP ----- 1 g de fósforo

Se aplicaron 1.923 g de fertilizante comercial, para el fertilizante encapsulado que tiene la característica de ser de liberación lenta, lo que reduce la frecuencia de aplicación y por lo cual la disposición del nutriente en el suelo es más larga, se aplicó menos cantidad del fertilizante encapsulado que del fertilizante comercial, aplicando 1 g por planta del encapsulado.

IV.3 Bioensayo de promoción del crecimiento

IV.3.1 Siembra e inoculación de microorganismos benéficos y aplicación del fertilizante encapsulado

El sustrato utilizado para el experimento fue arena y peatmoss en relación 2.5:1 V/V, el cual se esterilizó tres veces en la autoclave digital (semiautomática modelo EV360-EVAL, marca Novatech), durante una hora, esto con el fin de eliminar cualquier microorganismo

presente en el sustrato que pueda interferir con el experimento. Se germinaron las semillas en charolas con cavidades de 100 cm³, se llenó una parte de la cavidad con el sustrato esterilizado y se agregó 20 g a cada cavidad para los tratamientos con HMA nativo y para los tratamientos de control se pesaron 100g los cuales se colocaron en una malla de 20 µm, que se dejó en agitación durante una hora, se agregan 5 ml del filtrado a cada cavidad. Para el riego se utiliza agua destilada durante la germinación de la semilla, al tener dos hojas verdaderas se comienza aplicar una solución nutritiva universal Hoagland al 25 % de fósforo, se mantiene durante 30 días en la charola de germinación y posterior se realizó el trasplante a macetas de 1.3 l previamente lavadas y desinfectadas, se agregó el sustrato estéril y se vuelve agregar 20 g de HMA nativo como refuerzo para los tratamientos que llevan los hongos micorrícicos arbusculares aislado nativo. Al momento del trasplante se suspendió por cinco días la solución nutritiva regando solo con agua destilada, con el fin de causar un estrés en la planta, en el lapso de los cinco días con la cepa de la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 que se creció en medio LB se realizaron diluciones seriadas utilizando tubos de 1.5 ml donde se agregó 900 µl de agua estéril y 100 µl de la rizobacteria, homogenizando para hacer diluciones seriadas de 10⁻¹ a 10⁻⁶, después se toman 100 µl de cada tubo de 1.5 ml y se siembran en cajas Petri con medio LB sólido, con el objetivo de crecer las bacterias y hacer el conteo de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), se dejaron en la incubado a 30°C por 36 h, al siguiente día se observó y se realizó el conteo donde la caja Petri de la dilución 10⁻⁵ se observan más separadas contando 28, siendo 2.8 x 10⁶ UFC/ml, esa es la densidad bacteriana que se usó, en el quinto día se aplicaron 10 ml de la rizobacteria en la base de la planta. Al día siguiente se suministra el fertilizante micro-encapsulado MKP y el comercial, se remueve 2 cm de suelo en la base de la planta para aplicarlo y posterior recubrir, después de la aplicación se vuelve a suministrar la solución nutritiva con una modificación, se suspende el fósforo ya que el fertilizante encapsulado lo complementaria, se aplicaron 2 riegos al día durante 30 días que se mantuvieron las plantas en el invernadero de baja tecnología.

IV.4 Diseño experimental

El ensayo de promoción del crecimiento se realizó bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, el cual tuvo 9 tratamientos con 10 bloques y 10 repeticiones aleatorizadas, los tratamientos fueron: 1) Control, 2) MKP, 3) MKP + Rizobacteria, 4) FE + HMA + Rizobacteria, 5) MKP + HMA + Rizobacteria, 6) FE + Rizobacteria, 7) FE, 8) MKP + HMA y 9) FE + HMA.

Bloques	Tratamientos - Repeticiones										Tratamientos	
Bloque 1	T1R1	T2R1	T3R1	T4R1	T5R1	T6R1	T7R1	T8R1	T9R1		T 1	Control
Bloque 2	T8R2	T1R1	T9R2	T3R2	T7R2	T2R2	T5R2	T4R2	T6R2		T 2	MKP
Bloque 3	T5R3	T7R3	T1R3	T8R3	T4R3	T9R3	T6R3	T2R3	T3R3		T 3	MKP + Rizobacteria
Bloque 4	T2R4	T6R4	T4R4	T9R4	T3R4	T7R4	T8R4	T5R4	T1R4		T 4	FE + HMA + Rizobacteria
Bloque 5	T9R5	T3R5	T8R5	T4R5	T1R5	T5R5	T2R5	T6R5	T7R5		T 5	MKP + HMA + Rizobacteria
Bloque 6	T3R6	T4R6	T2R6	T6R6	T8R6	T1R6	T7R6	T9R6	T5R6		T 6	FE + Rizobacteria
Bloque 7	T4R7	T9R7	T5R7	T7R7	T2R7	T3R7	T1R7	T6R7	T8R7		T 7	FE
Bloque 8	T6R8	T7R8	T3R8	T8R8	T9R8	T5R8	T2R8	T1R8	T4R8		T 8	MKP + HMA
Bloque 9	T5R9	T3R9	T8R9	T6R9	T1R9	T4R9	T9R9	T7R9	T2R9		T 9	FE + HMA
Bloque 10	T1R10	T5R10	T8R10	T2R10	T4R10	T7R10	T6R10	T3R10	T9R10			

Figura 4. Diseño experimental correspondiente al bioensayo de promoción del crecimiento

IV.5 Mediciones biométricas y fisiológicas

IV.5.1 Altura de planta

Para esta variable se usó un flexómetro, se colocó en la base del tallo y se midió hasta la parte superior en el meristemo apical.

IV.5.2 Diámetro del tallo

Para esta variable se usó un vernier digital, la lectura de esta medición se tomó en la base del tallo.

IV.5.3 Biomasa fresca foliar

Se recolecto la planta completa, la cual se introdujo en una bolsa de papel, rotulando el con el bloque y tratamiento que corresponda, posterior se llevaron al Laboratorio de Agromicrobiología para tomar el dato de peso fresco.

IV.5.4 Biomasa seca foliar

Después de realizar la medición de peso fresco se llevaron al cuarto de secado donde se dejaron a 75 °C durante 4 días, posterior se sacaron del cuarto de secado y se llevaron al Laboratorio de Agromicrobiología para tomar el dato de peso seco hasta que fuera constante. El tejido seco foliar se guardó para evaluar posibles diferencias del contenido de fósforo total en cada muestra.

IV.5.5 Toma de datos fisiológicos

Para esta actividad se usó el equipo (LI-6400 XT, LI-COR, Inc. Lincoln Nebraska, USA), se tomaron datos sobre hojas jóvenes de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática de todas las plantas. Las mediciones se realizaron a las 12:00 h., con el apoyo técnico del M.C. Adolfo Baylón Palomino del Departamento de Biociencias y Agrotecnología.

IV.5.6 Recolección de tejido radicular

Se realizó el lavado de raíces de todos los tratamientos y se recolectaron dos muestras en tubos de 50 ml con agua estéril, estos se guardaron en el cuarto para la confirmación de HMA y rizobacteria. Las raíces se guardaron en bolsa de papel rotulando el bloque y tratamiento al que pertenecen, se llevaron al Laboratorio de Agromicrobiología para tomar el dato de peso fresco y posterior llevar al cuarto de secado para dejarlas por 4 días a 75 °C, después se sacaron y se tomó el dato de peso seco en el Laboratorio de Agromicrobiología.

IV.5.7 Recolección de tejido foliar para cuantificación de fósforo

Se recolectó el tejido foliar de todos los tratamientos resguardando cada muestra de tejido en bolsas de papel rotulando con el tratamiento de cada planta y se realizó la molienda

del tejido para obtener 10 gr de cada tratamiento para mandar a cuantificar el porcentaje de fósforo al Laboratorio del CENID RASPA del INIFAP, Torreón, Coahuila.

IV.6 Colonización intrarradical del HMA

Con las muestras de raíces recolectadas en los tubos de 50 ml, se realizó la técnica de tinción con azul de tripano (Phillips & Hayman 1970), donde las raíces se clarificaron en KOH al 1 M, en baño maría a 60 °C durante 90 min, terminando las raíces se enjuagan con agua y se agregó HCl al 1% durante 3 min a temperatura ambiente, después se agregó azul de tripano al 0.02% en baño maría a 60 °C durante 45 min. Para estimar la colonización intrarradical de todos los tratamientos, se examinaron las muestras de raíces bajo un microscopio observando en aumentos de 10X y 40X para identificar y contar las estructuras de los HMA nativos presentes en las raíces de las plantas de tomate, el porcentaje de colonización radical se realizó según McGonigle et al. 1990.

IV.7 Confirmación de la rizobacteria (PGPR) en la planta

Para confirmar la presencia de la rizobacteria PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 con las raíces de la planta, se pesó 2 g de raíz, se colocó en un mortero estéril donde se agregó 10 ml de agua destilada para su maceración, se tomaron 100 µl del extracto acuoso que se agregó a un matraz con 50 ml de medio DF (Dworkin and Foster, 1958) suplementado con (NH₄)₂SO₄, se dejó en agitación en la incubadora por 24 h a 30 °C. Al día siguiente se realizaron diluciones seriadas en tubos de 1.5 ml, agregando 900 µl de agua destilada y 100 µl del medio para homogenizar, las diluciones fueron de 10⁻¹ a 10⁻⁴ se utilizó la dilución de 10⁻³ para sembrar en las cajas Petri con medio DF suplementado con ACC, (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) las cajas Petri se guardaron en la incubadora a 30 °C durante 3 días. Pasando los 3 días se pasan las cajas Petri a la campana donde se observa el crecimiento de colonias blancas y transparentes típicas de la rizobacteria PGPR *Enterobacter* sp. DBA51, estas colonias bacterianas fueron sembradas en dos tubos de ensayo con 5 ml de medio LB líquido, estos se dejaron en agitación por 24 h y posterior se almacenaron en el cuarto frío. A estos cultivos se realizó la extracción de ADN genómico con el kit de Quick-DNA Fungal/Bacterial Isolation KIT (ZYMORESEARCH). La extracción de ADN total de la rizobacteria se utilizó el kit de purificación de ADN microbiano (ZYMO RESEARCH)

para la purificación de ADN genómico, el ADN se utilizó como templado para amplificar por PCR el fragmento de 16S rADN bacteriano (~1500 pb), se utilizó 4 µl para realizar la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y obtener el fragmento amplificado del 16S rDNA, posteriormente se preparó un gel utilizando 5 µl de la muestra del PCR, se agregaron 4 µl del marcador de 100 pb, se corrió a 90 V durante 20 min y se visualizó el gel en un foto documentador (EZ Images, BIORAD). Finalmente se realizó la cuantificación del producto de PCR el cual fue purificado y enviado a secuenciar a LABSERGEN de CINVESTAV-LANGEBIO, la secuencia obtenida se comparó en la base de datos de NCBI (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

IV.8 Bioensayo de patogenicidad

IV.8.1 Siembra e inoculación de microorganismos benéficos y aplicación del fertilizante encapsulado

Se siguió el mismo protocolo experimental que se realizó en el ensayo de promoción del crecimiento, como fue la germinación de la semilla en la charola de crecimiento, la inoculación de cultivo monoespecífico HMA nativo en la etapa de semillero con el riego de agua destilada y solución nutritiva al tener dos hojas verdaderas manteniéndolas durante 30 días en semillero, la aplicación de la rizobacteria PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 en el trasplante, el suministro del fertilizante encapsulado y comercial con la modificación de la solución nutritiva.

IV.9 Crecimiento del patógeno necrotrófico (*Pectobacterium cacticidum* FHLGJ22)

Partiendo de un cultivo fresco en el medio LB se utilizaron 100 µl para sembrar en cajas de Petri con medio MG (Manitol glutamato) medio utilizado para activar la virulencia del patógeno acorde a lo reportado en la literatura (Keane et al. 1970), después se incubaron a 28 °C por 24 h para su crecimiento. Al día siguiente se realizan diluciones seriadas de 10^{-1} a 10^{-6} en tubos de 1.5 ml con 900 µl de agua estéril y 100 µl del patógeno para dejarlas en la incubadora a 28 °C durante 3 días, pasando este tiempo se observó el crecimiento de las unidades formadoras de colonias, de las cuales la caja de Petri de la disolución 10^{-5} es la que tiene UFC más separadas contando 31 colonias, siendo 3.1×10^{-6} UFC/mL, la cual se usa para la aplicación del patógeno. Lo siguiente se realizó bajo condiciones de esterilidad dentro de la campana de flujo laminar donde se agregaron 3 ml de agua desionizada estéril a la caja

de Petri con medio MG, se homogenizó y se colectó 3 ml de cada caja Petri del medio homogenizado, se llevó a 400 ml de agua desionizada estéril, se mezcló bien y de aquí se aplicaron 5 ml de la suspensión bacteriana a cada planta.

IV.9.1 Aplicación del patógeno a las plantas de tomate

Para la aplicación del *P. cacticidum* (FHLGJ22) en las plantas de tomate, se aplicó antes de la etapa de floración por lo cual se estuvo monitoreando su desarrollo, se observó en el día 24 después del trasplante que algunas plantas comenzaban a entrar en la etapa de floración, por lo cual se decidió realizar la aplicación del patógeno. Para la aplicación se utilizaron bolsa de plástico de 10 kg, con las cuales se cubrió la planta completa evitando dañar mecánicamente a la planta, la aplicación se realizó por la técnica de infiltración utilizando una jeringa de 1 ml, se aplicaron 5 μ l en el envés de las hojas compuestas de la planta, se selló la bolsa durante 3 días con el objetivo de crear las condiciones de humedad para favorecer el crecimiento del patógeno e infecte a la planta, pasando los 3 días se retira la bolsa, en un lapso de 3 a 5 días tiempo para manifestarse los síntomas del patógeno, se monitoreó las plantas infectadas detectando pequeñas manchas café bronceadas, que posterior crecieron cambiando al síntoma de clorosis, llegando hasta etapa de infección en la planta.



Figura 5. Aplicación del patógeno por la técnica de infiltración 5 μ l a cada planta.

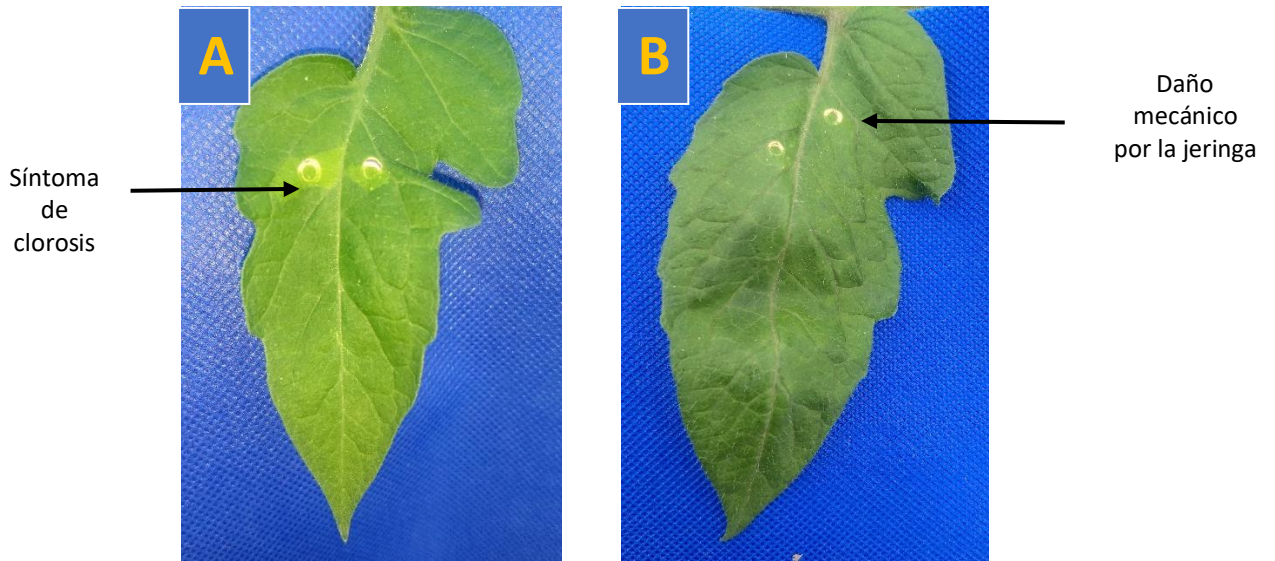


Figura 6. A) Síntoma presentado por la aplicación del patógeno (clorosis), B) Hoja de tratamiento control presentado daño mecánico por la técnica de infiltración

IV.10 Diseño experimental

El ensayo de patogenicidad se realizó bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, el cual tuvo 8 tratamientos con 10 bloques y 10 repeticiones aleatorizadas, los tratamientos fueron: 1) Control, 2) Control + FHLGJ22, 3) MKP + Rizobacteria + FHLGJ22, 4) MKP + HMA, 5) MKP + HMA + Rizobacteria + FHLGJ22, 6) FE + HMA + Rizobacteria + FHLGJ22, 7) FE + Rizobacteria + FHLGJ22, 8) FE + HMA + FHLGJ22.

Bloques	Tratamientos - Repeticiones								Tratamientos	
	T1R1	T2R1	T3R1	T4R1	T5R1	T6R1	T7R1	T8R1	T 1	Control
Bloque 2	T8R2	T1R1	T6R2	T3R2	T7R2	T2R2	T5R2	T4R2	T 2	Control + FHLGJ22
Bloque 3	T5R3	T7R3	T1R3	T8R3	T4R3	T3R3	T6R3	T2R3	T 3	MKP + Rizobacteria + FHLGJ22
Bloque 4	T2R4	T6R4	T4R4	T1R4	T3R4	T7R4	T8R4	T5R4	T 4	MKP + HMA
Bloque 5	T7R5	T3R5	T8R5	T4R5	T1R5	T5R5	T2R5	T6R5	T 5	MKP + HMA + Rizobacteria + FHLGJ22
Bloque 6	T3R6	T4R6	T2R6	T6R6	T8R6	T1R6	T7R6	T5R6	T 6	FE + HMA + Rizobacteria + FHLGJ22
Bloque 7	T4R7	T8R7	T5R7	T7R7	T2R7	T3R7	T1R7	T6R7	T 7	FE + Rizobacteria + FHLGJ22
Bloque 8	T6R8	T7R8	T3R8	T8R8	T5R8	T4R8	T2R8	T1R8	T 8	FE + HMA + FHLGJ22
Bloque 9	T5R9	T3R9	T2R9	T6R9	T1R9	T4R9	T8R9	T7R9		
Bloque 10	T1R10	T5R10	T8R10	T2R10	T4R10	T7R10	T6R10	T3R10		

Figura 7. Diseño experimental correspondiente al bioensayo de patogenicidad

IV.11 Porcentaje de severidad mediante el análisis de imágenes en R studio

Para determinar el porcentaje de severidad que causó el patógeno en las hojas infectadas de la planta, se tomó evidencia fotográfica de cada hoja infectada para realizar la segmentación de imágenes, procesos que permitió dividir una imagen en regiones significativas para facilitar su análisis, el primer paso fue la captura fotográfica con un fondo color azul, se procesan las imágenes digitalizadas para segmentar e identificar el área sana y enferma de la hoja. Por intensidad de píxeles se identifica las áreas sanas de las áreas enfermas, obteniendo este dato en porcentajes de píxeles que se presenta en cada área de la hoja, esto realizado en el programa R studio con el apoyo del Dr. Francisco Lara Viveros del Departamento de Biociencias y Agrotecnología.

IV.12 Confirmación de rizobacteria en la planta

Para comprobar la presencia de la rizobacteria *Enterobacter* sp. DBA51 en la planta, se recolectaron muestras de raíz de los 4 tratamientos con rizobacteria, de estas muestras se pesó 2 g de raíz, se agregó 10 ml de agua desionizada estéril y se maceró hasta obtener un extracto, se tomaron 10 ml del extracto para crecer en un matraz con 50 ml de medio LB líquido, esto fue para los 4 tratamientos de rizobacteria y también se puso la muestra de raíz del tratamiento de control (no inoculado), en total 5 matraces que se dejaron en agitación a

28 °C durante 24 h. Posteriormente, se observó el crecimiento en el medio y se tomaron 100 µl de cada matraz para sembrar en cajas de Petri con medio PVK (Pikovaskvas, Nautival, et al. 1999), se realizaron dos cajas de Petri por cada tratamiento y se dejaron en la incubadora a 28 °C durante 4 días para su crecimiento.

IV.13 Recolección de tejido foliar

Al final del bioensayo de patogenicidad se recolectó tejido foliar de todos los tratamientos, se resguardaron en papel aluminio rotulando el tratamiento que corresponda y se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80 °C para posteriormente realizar la maceración, partiendo de 10 repeticiones de cada tratamiento se realizó un pool, dos de tres tratamientos y uno de cuatro tratamientos juntos, se obtuvo tres muestras de cada tratamiento para tener un total de 24 muestras equivalentes a las 80 plantas de los 8 bloques de tratamientos, estas se guardan en el ultra congelador de -80 °C para su posterior extracción de ARN total.

IV.14 Extracción de ARN total

Se realizó la extracción de ARN total de tejido foliar (100-500 mg) con la técnica de TRIzol (Invitrogen, USA) para romper las células y separar las diferentes fracciones celulares, se realiza cada paso utilizando los materiales y reactivos siguiendo las instrucciones específicas del proveedor. Terminando este proceso se realizó la cuantificación por espectrofotometría para determinar la concentración de ácidos nucleicos que hay en las 24 muestras, posterior siguiendo el protocolo del proveedor se usó DNAsa para eliminar cualquier contaminación de ADN genómico que pueda estar presente en la muestra, esto se realizó en microtubos para cada muestra, estas se incubaron a 37 °C durante 30 min, terminando este paso se agregaron 3 µl de 50 mM EDTA homogenizando cada muestra y se regresó al termoblock a 65 °C durante 10 min, posterior se realiza la cuantificación para medir la absorbancia de la muestra y evaluar la pureza. El siguiente paso fue realizar la síntesis de la cadena complementaria de ADN (ADNc), donde se utilizó el kit de SensiFast BIOLINE, siguiendo el protocolo del proveedor se utilizaron 4 µl de TransAmp Buffer más 1 µl de Reverse Transcriptase, junto con los primers específicos esta mezcla se agregó agua libre de RNAsa para tener en total 20 µl. Finalmente, este ADNc se utilizó como templado para futuros PCRs, las muestras se congelaron a -20°C hasta su uso.

IV.15 Amplificación de genes de resistencia por PCR y verificación por electroforesis en geles de agarosa

Se realizaron varias reacciones de PCR para amplificar una región específica de ADNc, donde se utiliza una enzima llamada ADN polimerasa, fragmentos cortos de ADN (Primers) y la muestra de ADN templado. Después de la PCR el siguiente paso es analizar las muestras amplificadas por electroforesis en geles de agarosa al 2% para verificar la presencia, tamaño y pureza de los fragmentos de ADN, se comparó con un marcador de 100 pb (Invitrogen, USA). La mezcla para todas las reacciones de PCR fueron las mismas, con la diferencia que cambió los genes a evaluar y su temperatura de alineamiento de cada uno. Los genes seleccionados fueron: Aleno, oxido ciclasa (AOC), Aminociclopropano-carboxilato oxidasa (ACCO), Inhibidor de proteinasa de respuesta a etileno (ERPI-1), Proteína relacionada a patogénesis (PR-1), Proteína de respuesta a *Pseudomonas syringae* pv, tomato (Pto-R1), Super oxido dismutasa (SOD) y el gen constitutivo Factor de elongación 1^a (EIF1 α). Se obtuvieron 26 reacciones de la cual se tomaron 24 μ l para cada tubo a la que se le agregó 1 μ l de ADNc, se agregaron 2 tubos extras, uno con ADN genómico de tomate y otro solo con los 24 μ l de la mezcla (sin ADN templado). Las reacciones de PCR se metieron al termociclador y las condiciones de PCR fueron de 95 °C – 3 min, 96 °C – 30 seg, Tm °C- 30 seg (de cada gen), 72 °C – 45 seg por 25 ciclos, y 72 °C – 10 min. Pasando este tiempo se preparó un gel para cada gen donde se agrega 3 μ l del marcador Gene ruler 100 pb al carril correspondiente, se agregaron 10 μ l de la PCR muestra de cada tubo, teniendo el orden de los tratamientos, se corrió el gel a 90 V durante 40 min, se visualizó el gel en el programa Image_Lab 6.0 y se cuantificó la intensidad de las bandas para determinar la expresión relativa de cada muestra y comprobar la expresión de los genes inducidos.

IV.16 Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos de los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$ y un cuadro de interacción entre factores, donde se muestran las diferencias que existen en los tratamientos, esto se realizó con el programa Infostat versión (2020).

V. RESULTADOS

V.1 Bioensayo de promoción del crecimiento

V.1.1 Resultados de pruebas biométricas y fisiológicas

Se presentan resultados a partir de mediciones biométricas y fisiológicas realizadas en las plantas, las mediciones se llevaron a cabo con el objetivo de encontrar posibles diferencias de promoción de crecimiento en las plantas a cada tratamiento. Los tratamientos que tienen el fertilizante encapsulado (FE) muestran valores más altos y significativos comparados con el de MKP convencional, al igual que combinado con algún microorganismo benéfico se muestran diferencias. A continuación, se muestran gráficos de las mediciones:

V.I.I.2 Altura de las plantas

En el gráfico de la Figura 8 se presentan los datos de altura de las plantas en (cm), de plantas de tomate sometidas a diferentes tratamientos. Los valores tratamientos con valores más altos significativamente son MKP (P convencional), y FE (Fertilizante encapsulado MKP) mostrando similitud, de estos le siguen los tratamientos Control y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza) que muestran casi la misma tendencia, debajo de estos se encuentran los tratamientos de MKP (P convencional), y MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria) estos tienen la misma tendencia, el siguiente tratamiento que le sigue a estos FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) que junto a los tratamientos de FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria) y MKP + HMA (P convencional y micorriza) se encuentran en los rangos más bajos, esto se muestra en la figura 8. Este análisis demuestra la importancia de utilizar combinaciones de tratamientos para maximizar el crecimiento de las plantas de tomate, destacando la sinérgica entre los microorganismos benéficos y los fertilizantes.

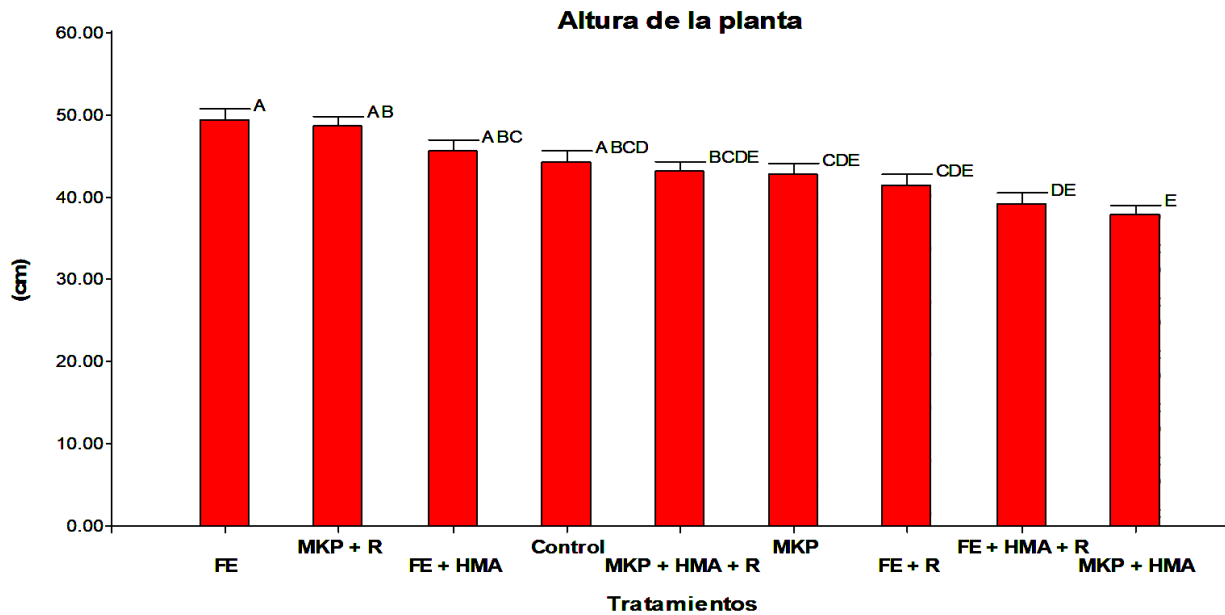


Figura 8. Promoción de crecimiento en tomate altura de la planta. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.2.1 Evaluación de sinergia del FE y MKP con los microorganismos benéficos

Se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones para cada tratamiento.

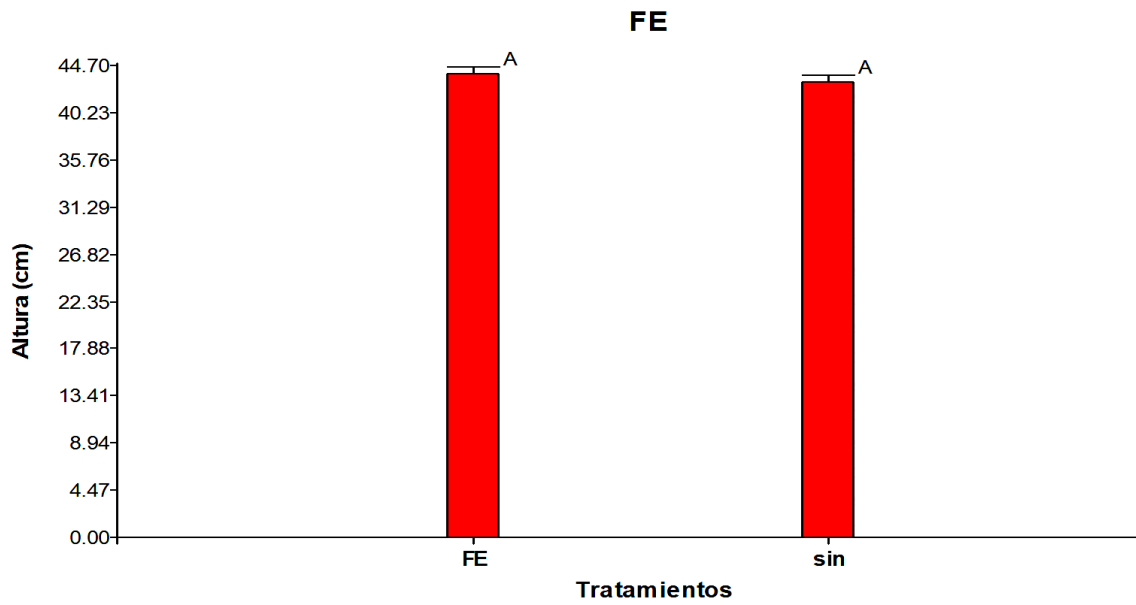


Figura 9. Se muestran resultado de sinergia en tratamientos de FE, donde muestran similitud no teniendo diferencia estadística entre ellos.

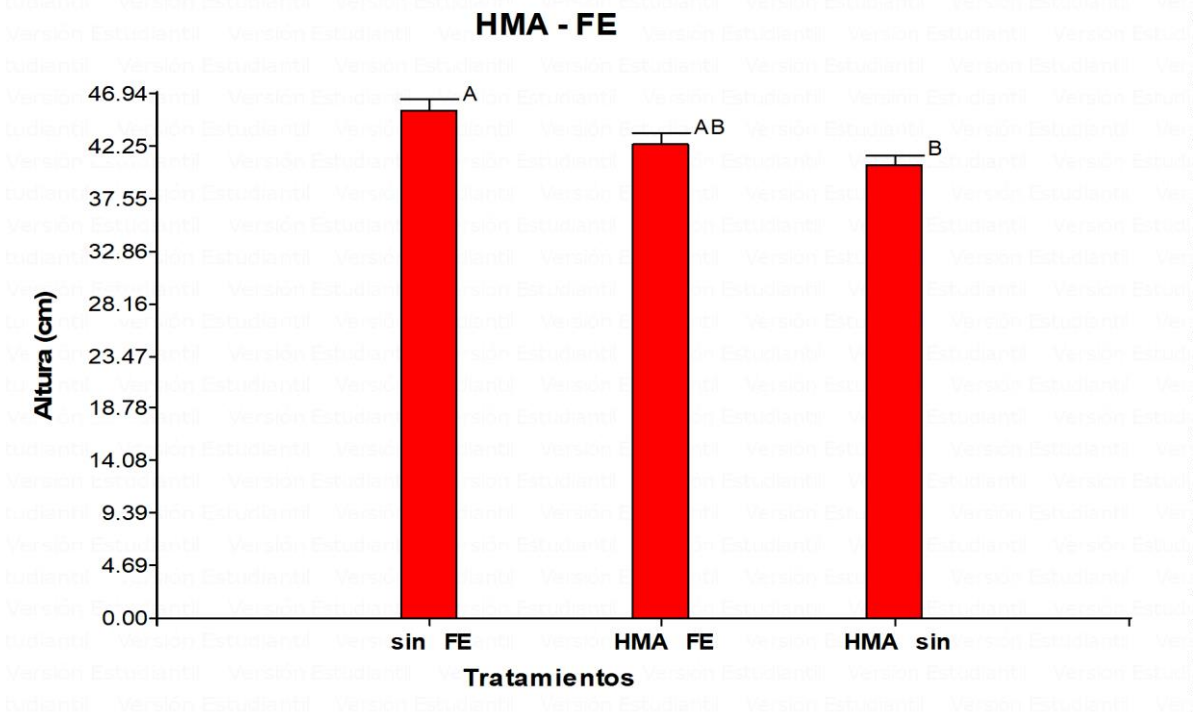


Figura 10. Se muestra resultado de sinergia de los tratamiento de HMA con FE en sus diferentes combinaciones, donde el resultado del FE solo y HMA solo tienen diferencias estadísticas actuando de manera individual pero en combinación tiene un efecto intermedio entre los dos pero no es lo suficientemente distinto para considerar una diferencia estadística, el efecto en la planta del factor HMA es que la planta destina fotosintatos para alimentar a los HMA en lugar de ser utilizados para el crecimiento vegetativo de la planta.

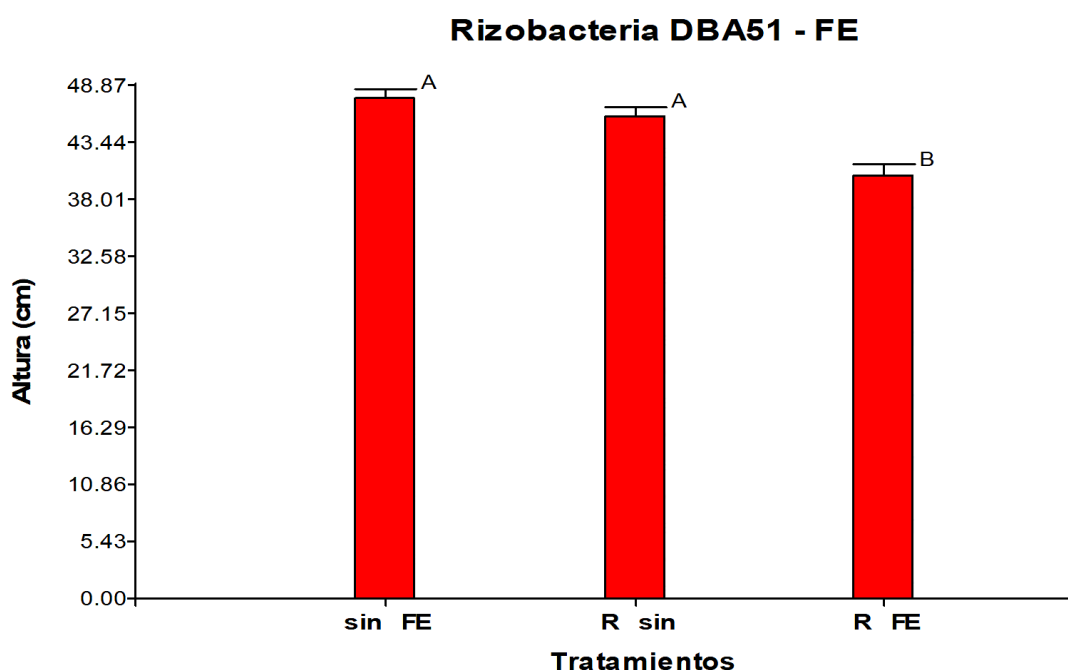


Figura 11. Se muestra el resultado de la Singer entre la rizobacteria DBA51 y el FE, en el cual los tratamientos individuales de FE y DBA51 no tienen diferencia estadística entre ellos en comparación al tratamiento en donde están los dos juntos el cual tiene diferencias estadísticas que se refleja en la menor altura de la planta, al destinar una cantidad significativa de sus fotosintatos para mantener y alimentar a la rizobacteria

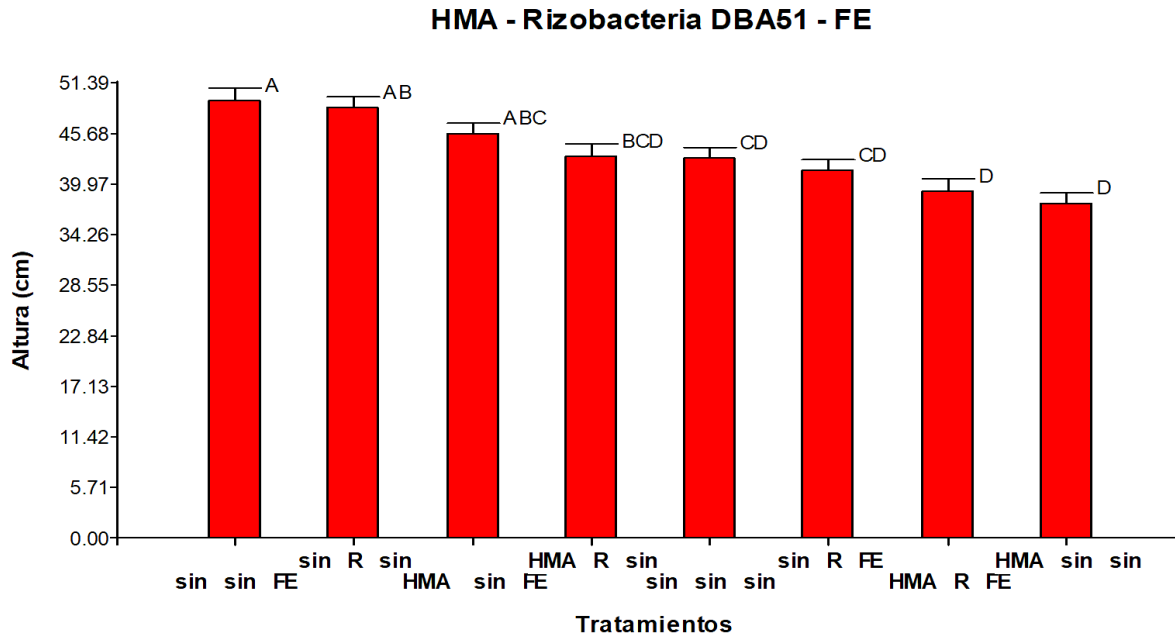


Figura 12. Concentrado de los tratamientos y combinaciones de HMA, rizobacteria DBA51 y FE, donde se muestra la sinergia que se presentó en cada tratamiento.

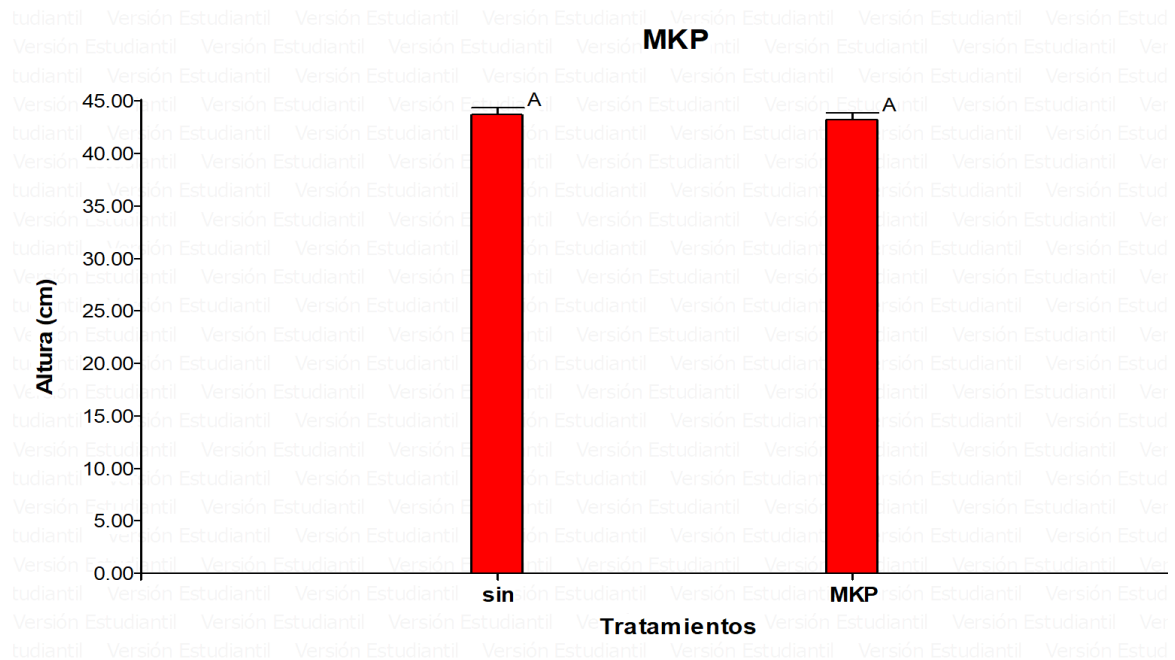


Figura 13. Se muestra resultados de tratamientos con y sin MKP fertilizante comercial, en el cual se muestra similitud, no presentando diferencia estadística.

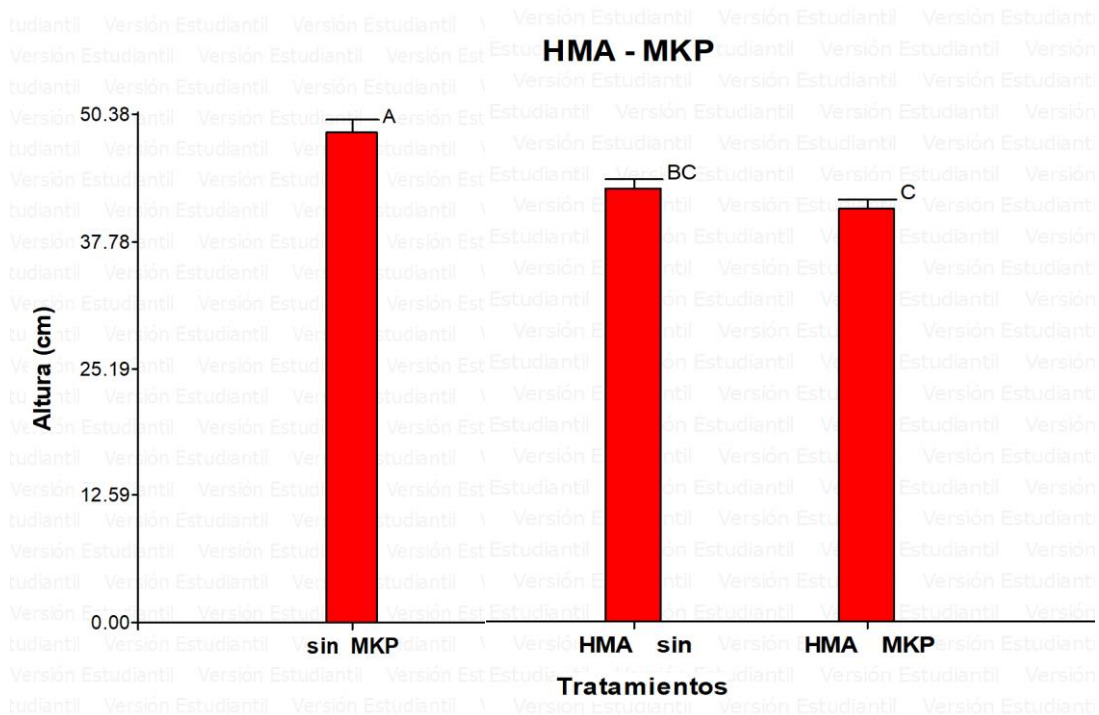


Figura 14. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y el fertilizante MKP comercial, en el cual el tratamiento de MKP tiene diferencia estadística al de HMA solo, en combinación tiene un valor más bajo estadísticamente, esto se debe al gasto de fotosintatos que la planta destina para alimentar a los HMA es mayor que el que destina para su desarrollo vegetal.

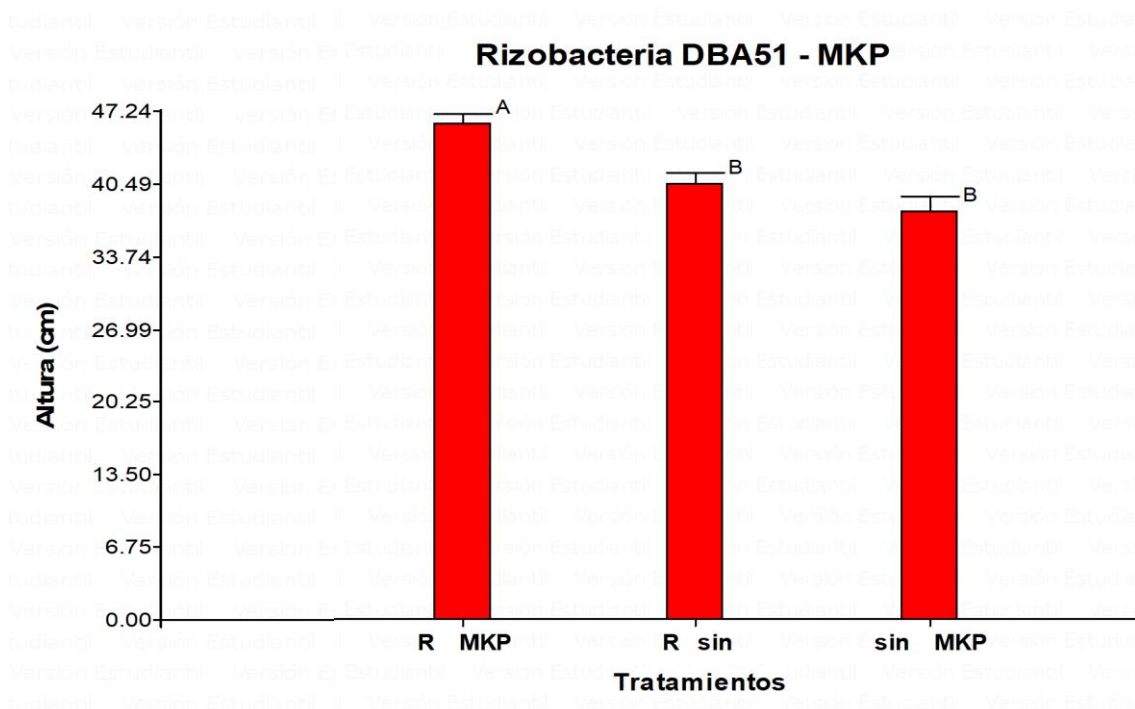


Figura 15. Se muestran resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el fertilizante MKP comercial, donde las combinaciones individuales de Rizobacteria y MKP presentan similitud, pero diferencia estadística en el tratamiento donde están juntos, la sinergia de estos dos factores beneficia en la altura de la planta.

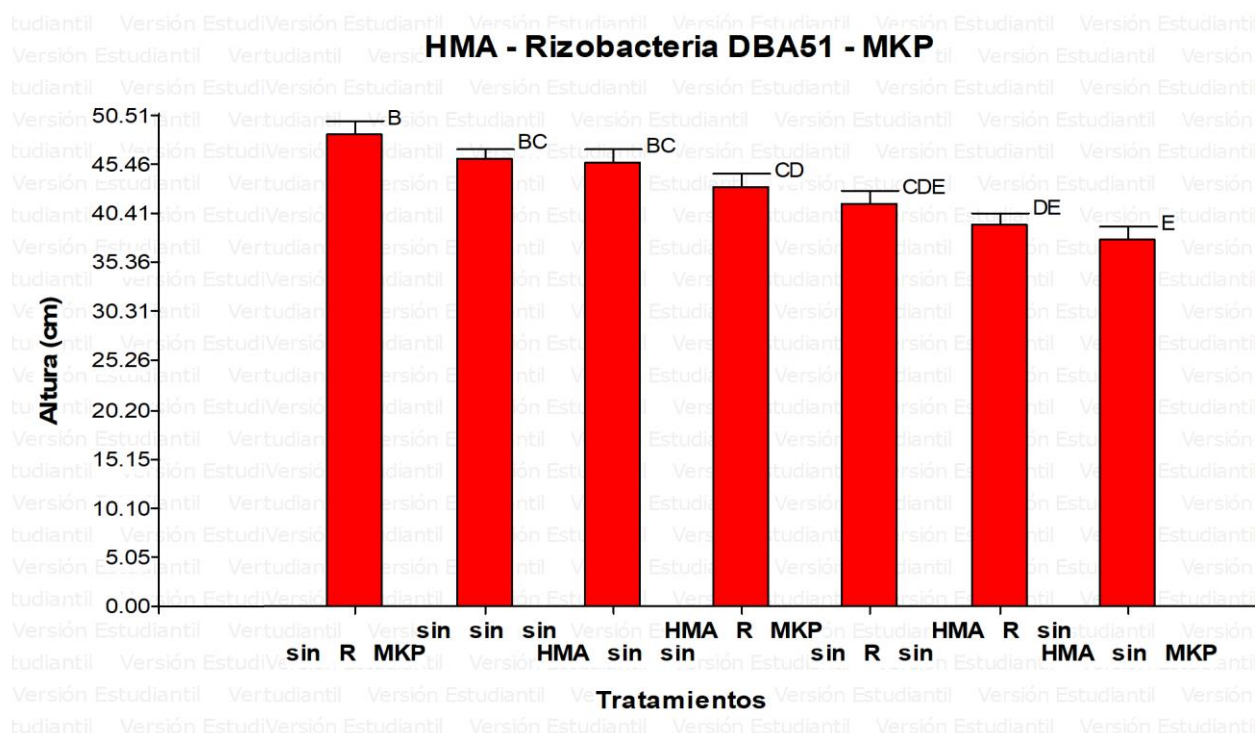


Figura 16. Concentrado de los tratamientos y combinaciones de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP, donde se muestra la sinergia que se presentó en cada tratamiento.

V.I.I.3 Diámetro del tallo

En la Figura 17 se muestra la comparación del diámetro del tallo en (mm) de plantas de tomate sometidas a diferentes tratamientos. Cada barra representa el promedio del diámetro del tallo para cada tratamiento con $n = 10$, se observa que el tratamiento FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) tiene diferencia significativa con el valor más alto de todos los tratamientos, seguido por debajo de los tratamientos MKP (P convencional), FE (Fertilizante encapsulado MKP) y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza) los cuales tienen la misma tendencia, para los tratamientos de MKP (P convencional), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria),

MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria) muestran misma tendencia en comparación al tratamiento Control y MKP + HMA (P convencional y micorriza) que están en los valores más bajos. Se muestra la importancia de las combinaciones de los tratamientos, destacando la sinergia con los microorganismos benéficos.

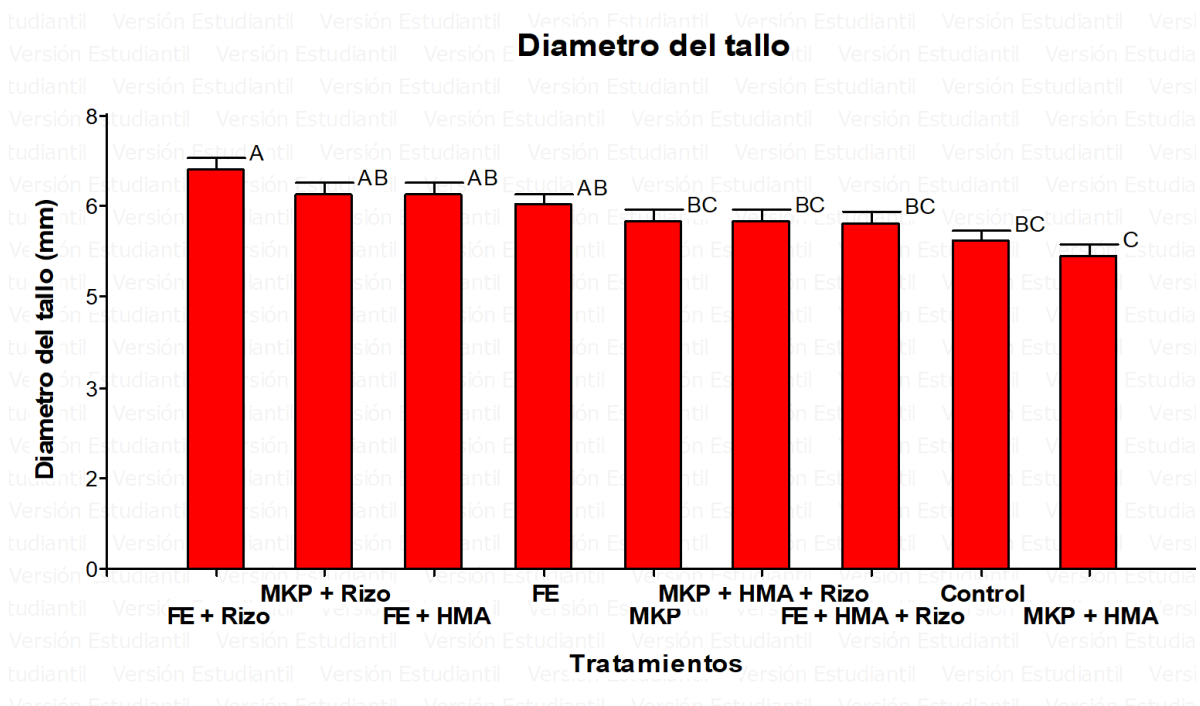


Figura 17. Promoción de crecimiento en tomate por diámetro de tallo. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.3.1 Evaluación de sinergia del FE y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

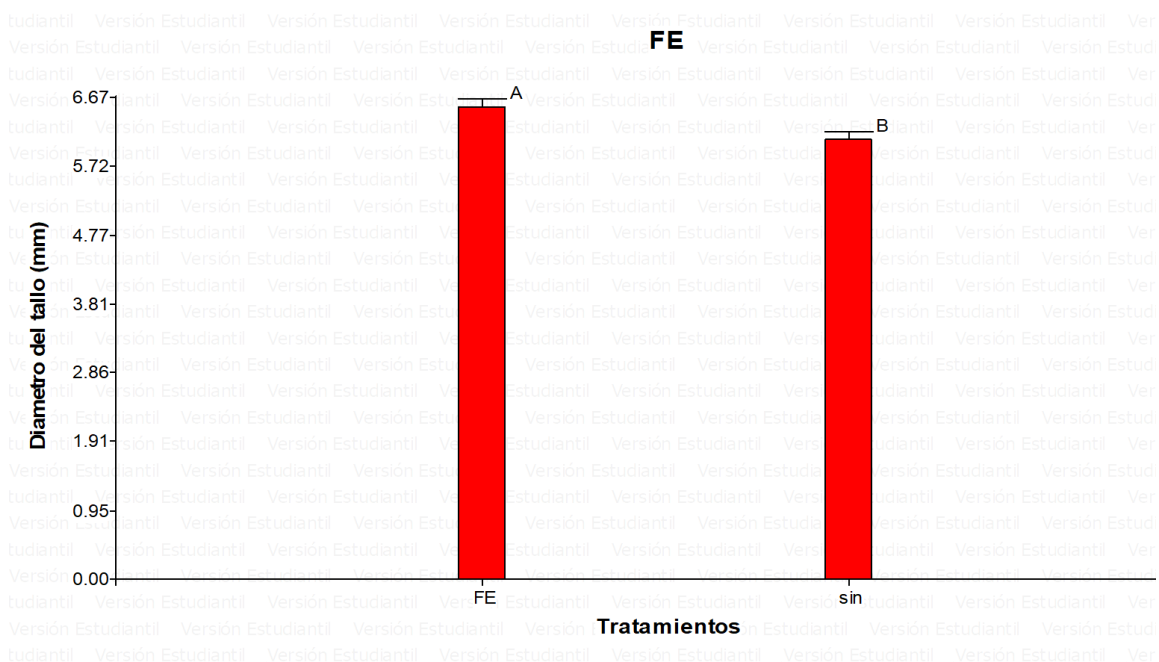


Figura 18. Se muestran resultado de la sinergia de tratamientos con y sin FE, donde se aprecia que tiene diferencia estadística, mostrando el resultado más alto FE.

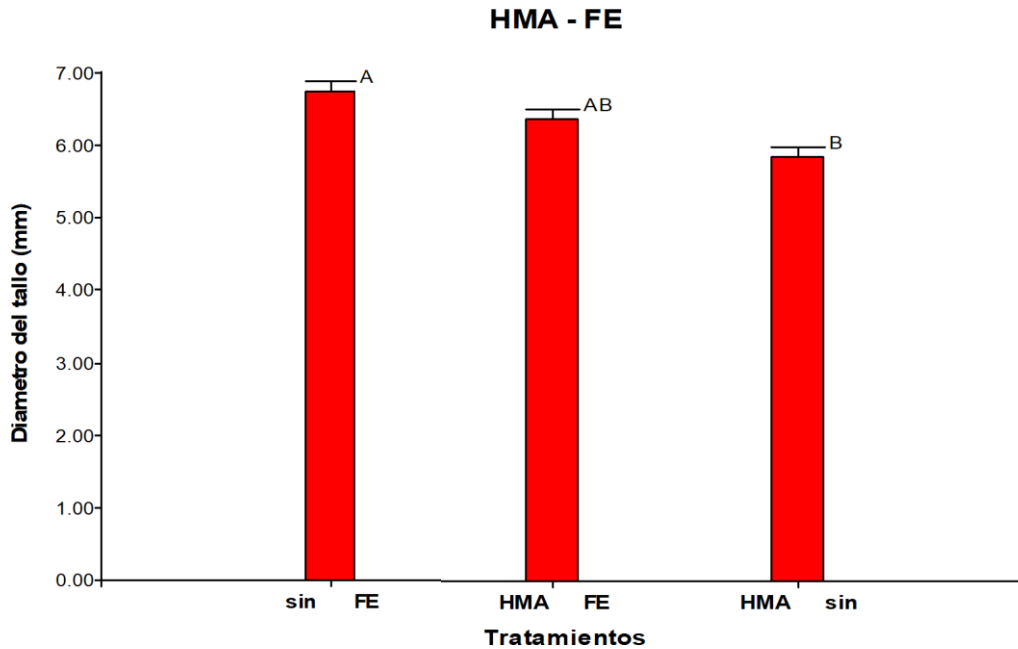


Figura 19. Se muestra resultados de la sinergia entre los factores de HMA y FE, donde individualmente muestran diferencias estadísticas, pero al estar juntos muestran sinergia mostrando un valor intermedio, no siendo diferente estadísticamente.

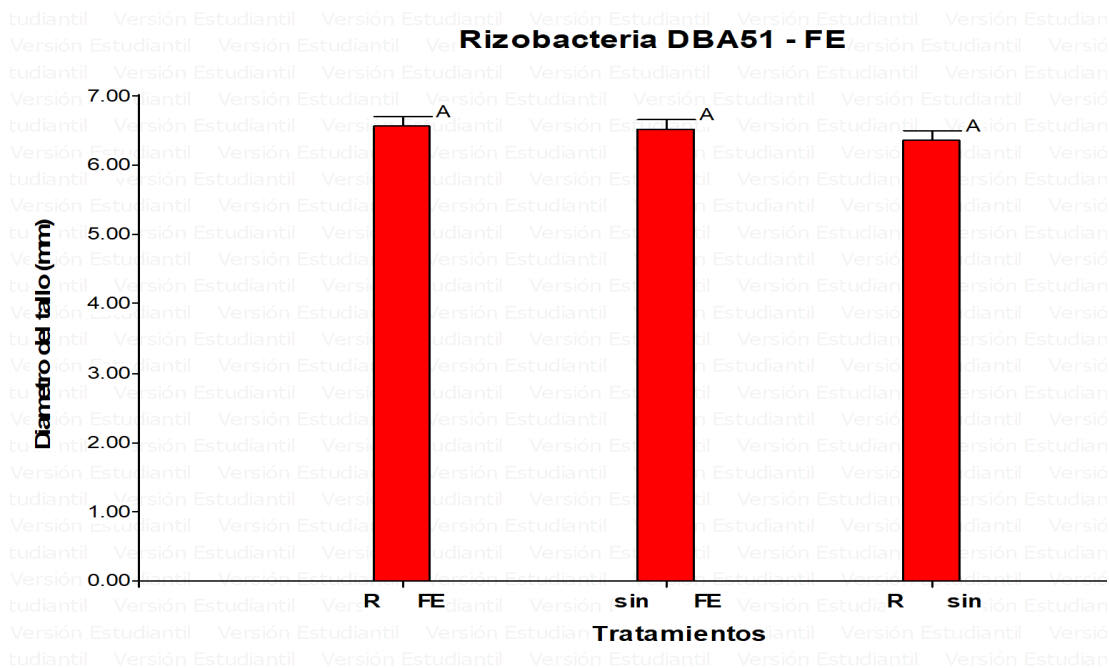


Figura 20. Se muestran resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el FE, los cuales de manera individual de forma combinada tiene cierta similitud no mostrando diferencias estadísticas entre ellos.

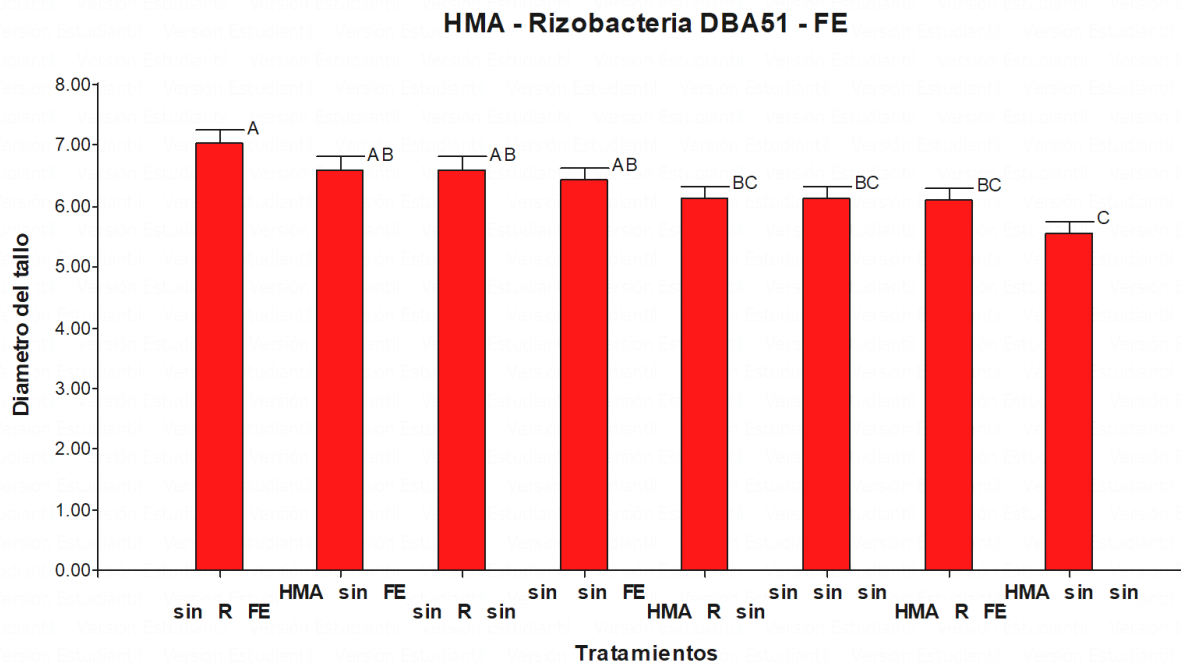


Figura 21. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

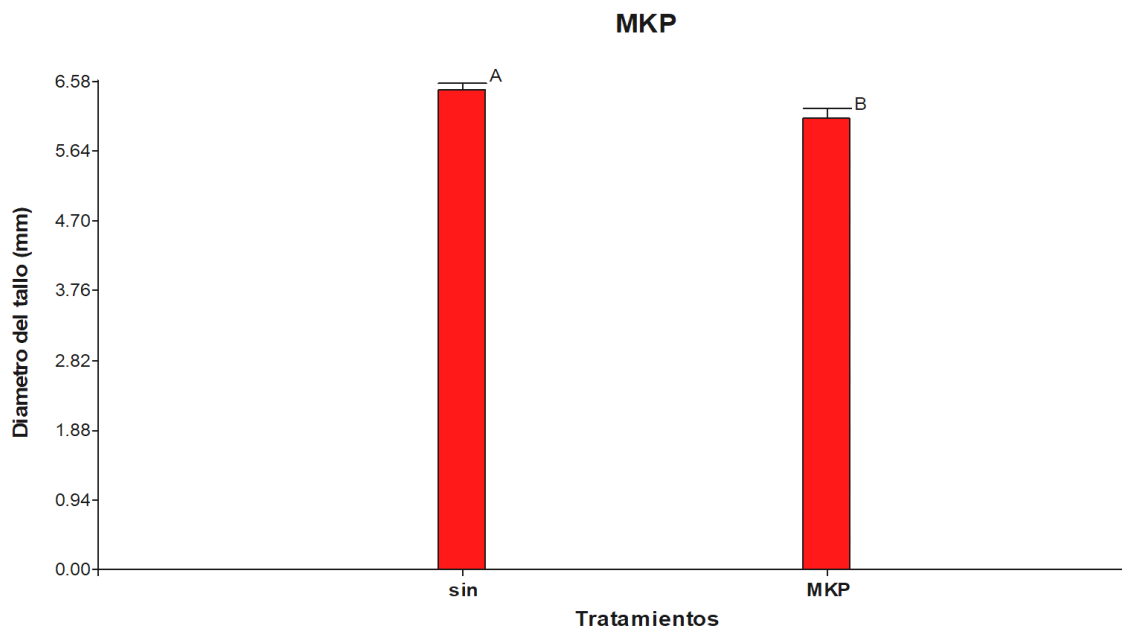


Figura 22. Se presenta resultado de la sinergia de los tratamientos de sin y con MKP, las cuales tiene diferencias estadísticas, siendo el de MKP más bajo.

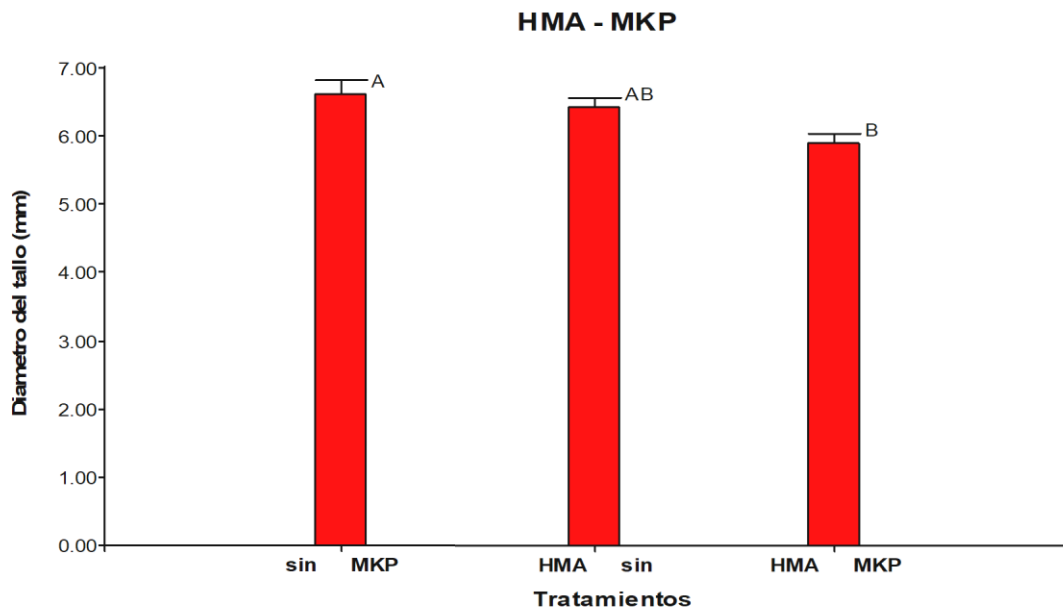


Figura 23. Se muestra el resultado de la sinergia entre los HMA y el fertilizante MKP comercial, el cual de manera individual muestran similitudes, pero de manera conjunta

muestra diferencia al MKP solo, este valor se muestra más bajo por el consumo de fotosintatos que destina la planta para alimentar y mantener a los HMA.

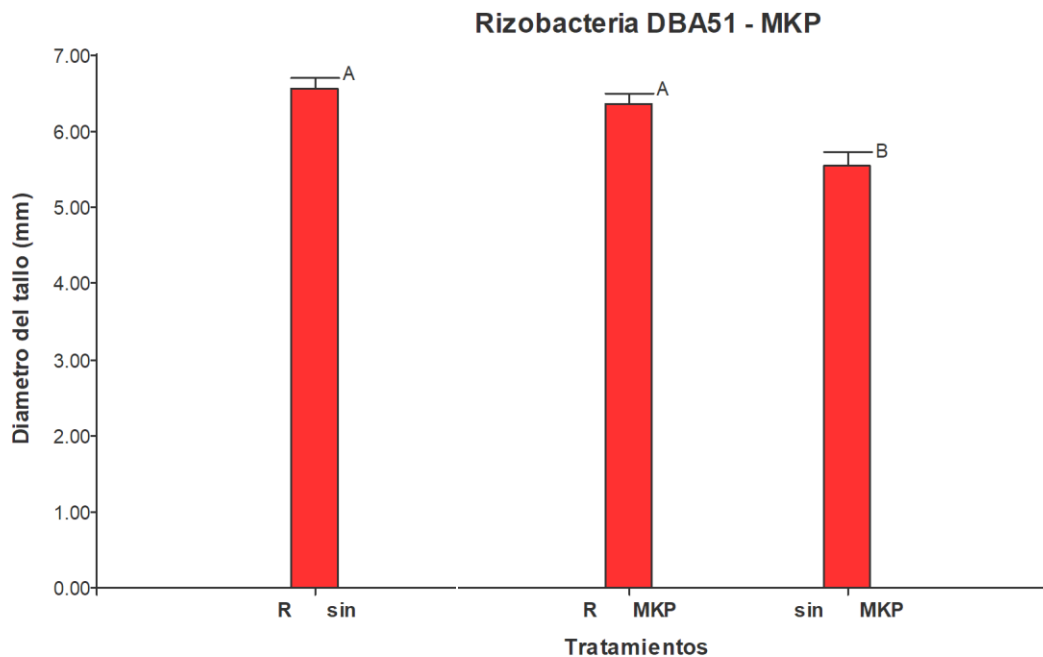


Figura 24. Se presenta resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y el fertilizante MKP comercial, el valor más alto se presenta con la rizobacteria de manera individual teniendo similitud en combinación de R y MKP, este tiene diferencia estadística con el MKP individual el cual tiene el valor más bajo.

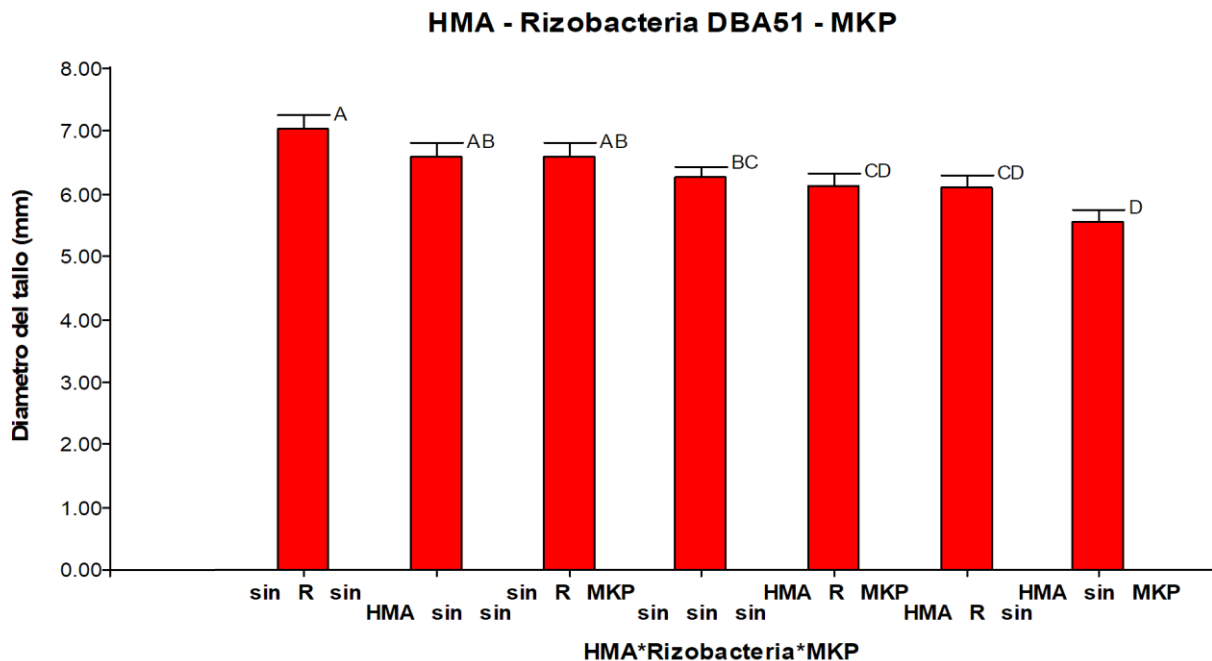


Figura 25. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.

V.I.I.4 Peso fresco foliar

En la Figura 26 podemos observar los resultados del peso fresco foliar, donde se sigue distinguiendo el tratamiento de FE (Fertilizante encapsulado MKP) como el más alto significativamente en comparación a los demás, los tratamientos que le siguen son FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza) estos muestran la misma tendencia a comparación de los tratamientos de Control, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA (P convencional y micorriza), que están en los valores más bajos en comparación a los tratamientos mencionados. Los tratamientos que combinan múltiples agentes como FE, HMA y R, tienden a tener un mayor impacto positivo en el peso fresco, aquí la importancia de utilizar combinaciones de tratamientos para maximizar el peso fresco en plantas de tomate.

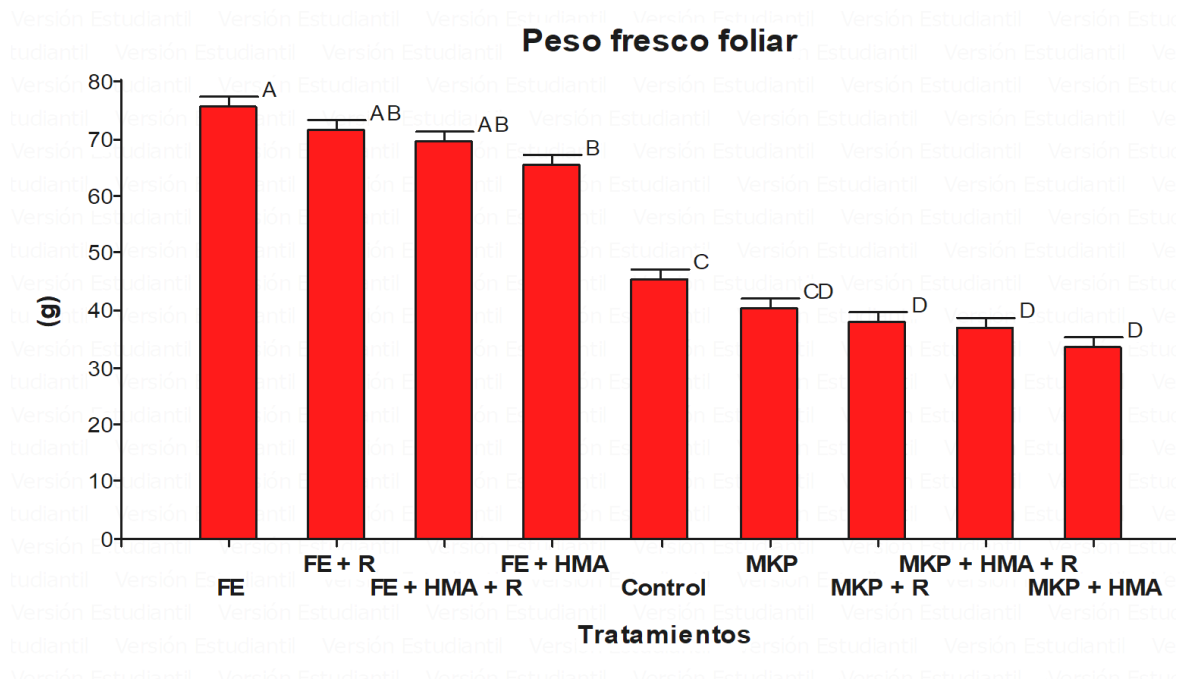


Figura 26. Promoción de crecimiento en tomate por peso fresco foliar en gramos (A) y peso seco foliar en gramos (B). Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.4 Peso seco foliar

Se muestran los resultados del peso seco foliar en la Figura 27, donde se aprecia que el tratamiento FE (Fertilizante encapsulado MKP) es significativamente más alto, seguido del tratamiento FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Los tratamientos que muestran una tendencia similar son Control, FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria) y FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), tratamientos que también muestran similitud entre ellos y que están debajo de los antes mencionados son MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria) y MKP + HMA (P convencional y micorriza) y con el valor más bajo se encuentra el tratamiento MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria). Los tratamientos de FE

(Fertilizante encapsulado MKP) combinado con algún microorganismo muestran los valores más altos en comparación con el fertilizante MKP (P convencional).

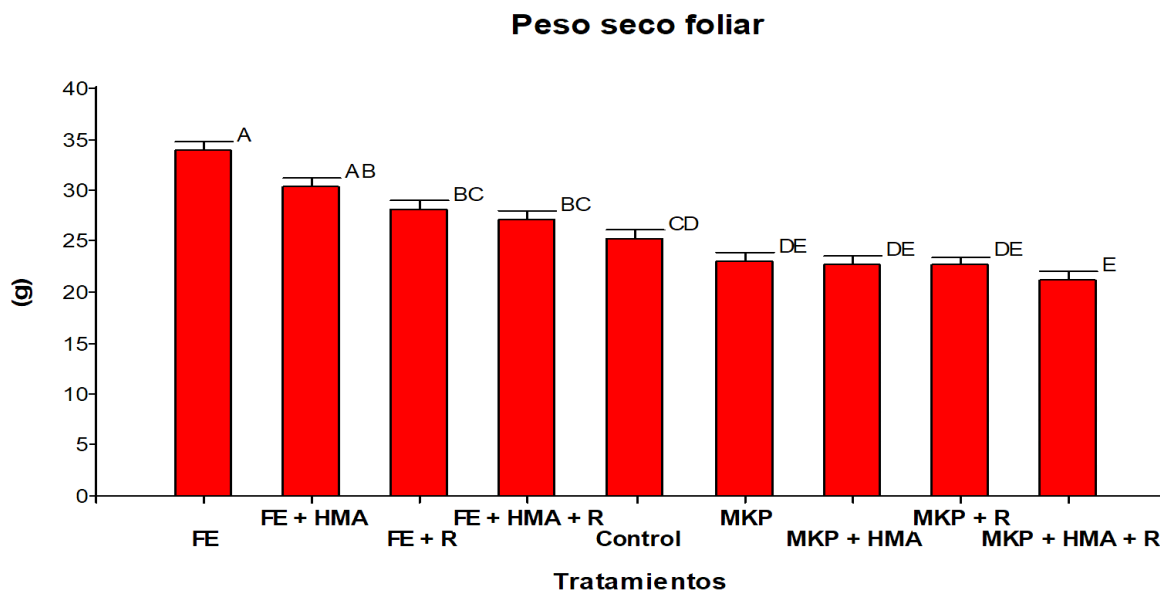


Figura 27. Promoción de crecimiento en tomate por peso seco foliar en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.II.4.1 Resultados de la sinergia entre los fertilizantes FE y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

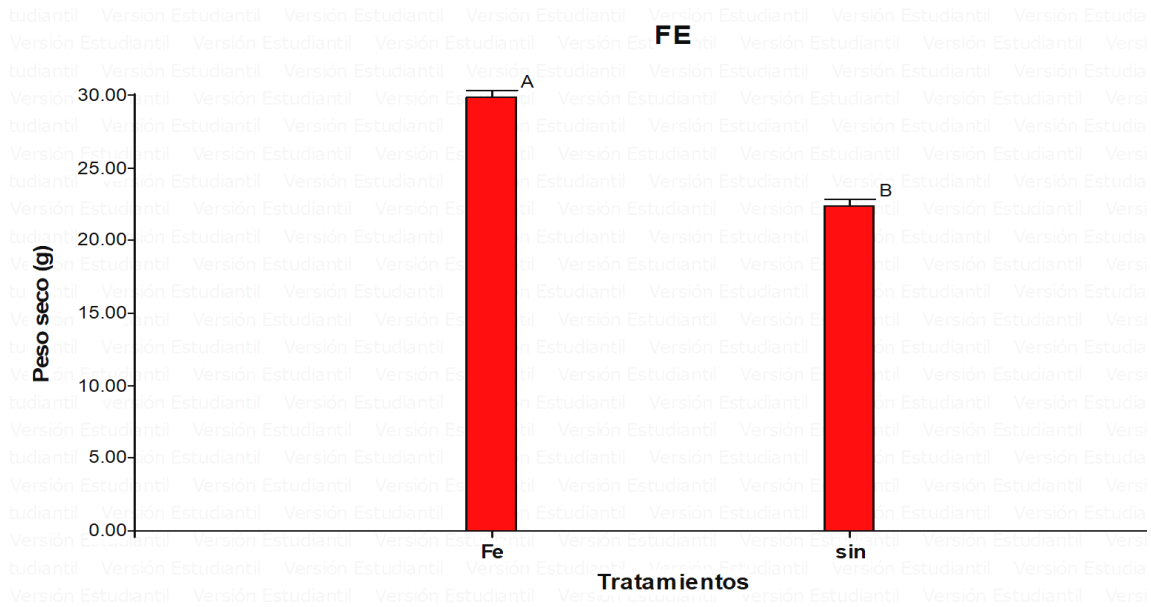


Figura 28. Se presenta resultados de la sinergia de tratamientos de FE que muestra mayor valor teniendo diferencia significativa con el que no tiene FE.

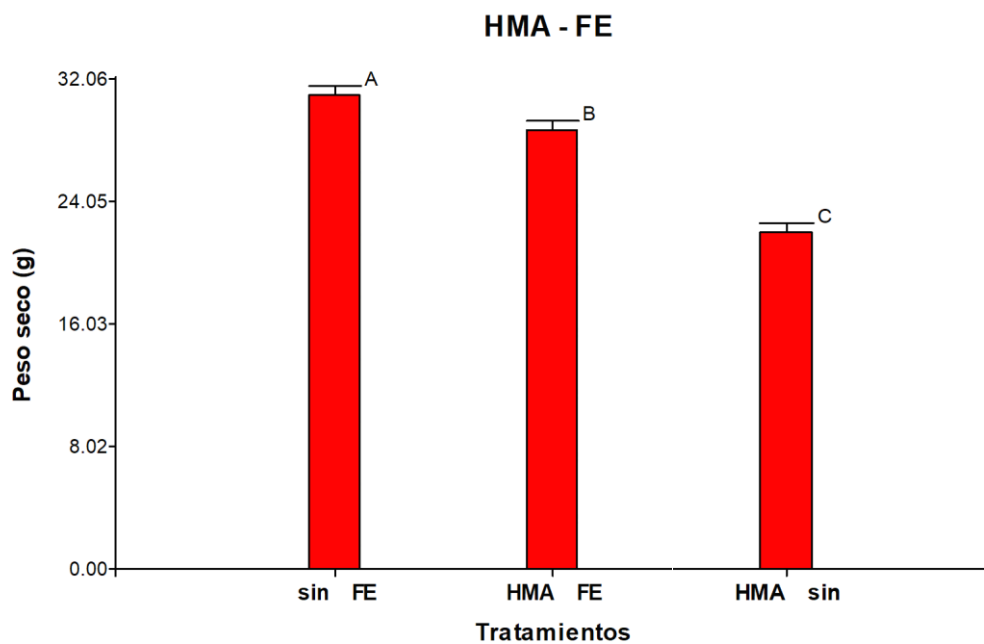


Figura 29. Se presentan resultados de la sinergia entre los HMA y FE, donde de manera individual presentan diferencias estadísticas, de maneja conjunta tiene un valor intermedio, pero con diferencias estadísticas a los individuales.

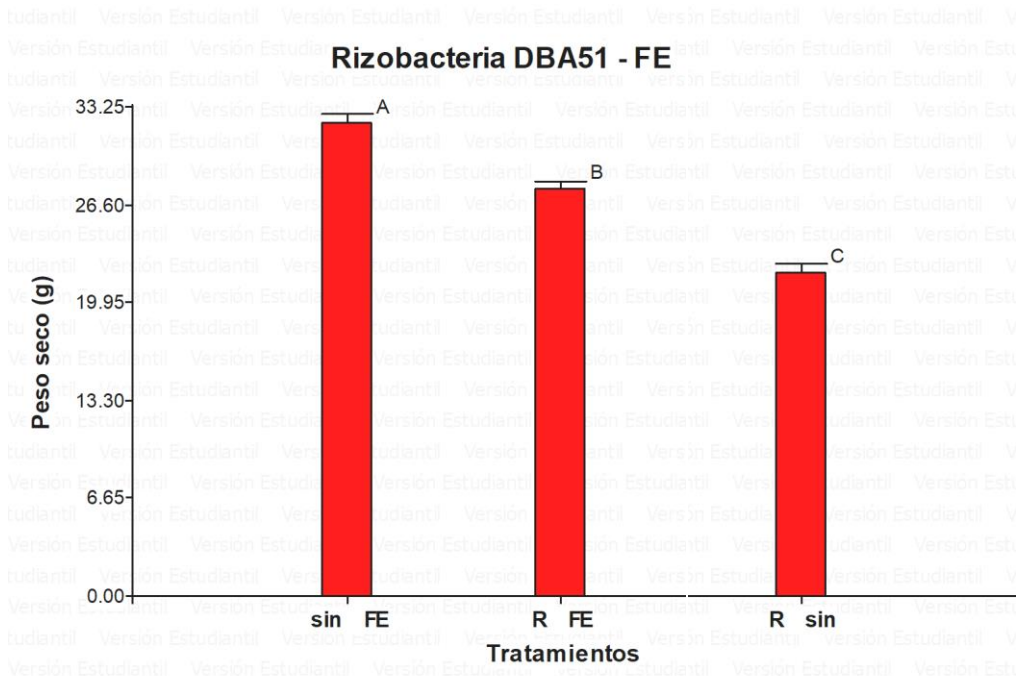


Figura 30. Se presentan resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y FE, los cuales muestran diferencias estadísticas entre ellos, la combinación de ellos tiene un valor intermedio con diferencias estadísticas.

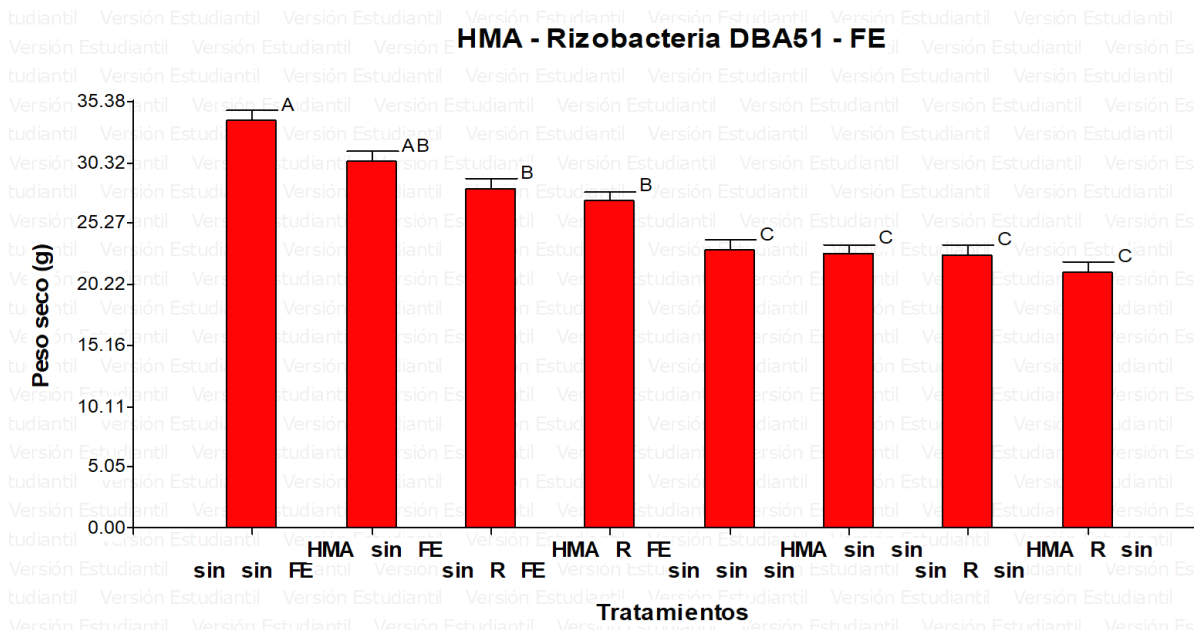


Figura 31. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

V.I.I.5 Peso fresco raiz

Con respecto al peso fresco de la raíz que se presentan en la Figura 32, se aprecia que el valor mas alto con diferencias significativas es el del tratamiento FE (Fertilizante encapsulado MKP) a diferencia de los demás, por debajo los tratamientos que le siguen son el de Control y FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria) los cuales muestran cierta similitud, de estos teniendo por debajo se encuentra el tratamiento FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) que muestra cierta similitud con los tratamientos de MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria) y teniendo a un más de bajo esta el tratamiento MKP + HMA (P convencional y micorriza) que con el tratamiento de MKP + HMA (P convencional y micorriza) tiene los valores más bajos del peso fresco de raíz. Se muestra cierta tendencia entre los tratamientos todos los tratamientos de los fertilizantes combinados con algún microorganismo.

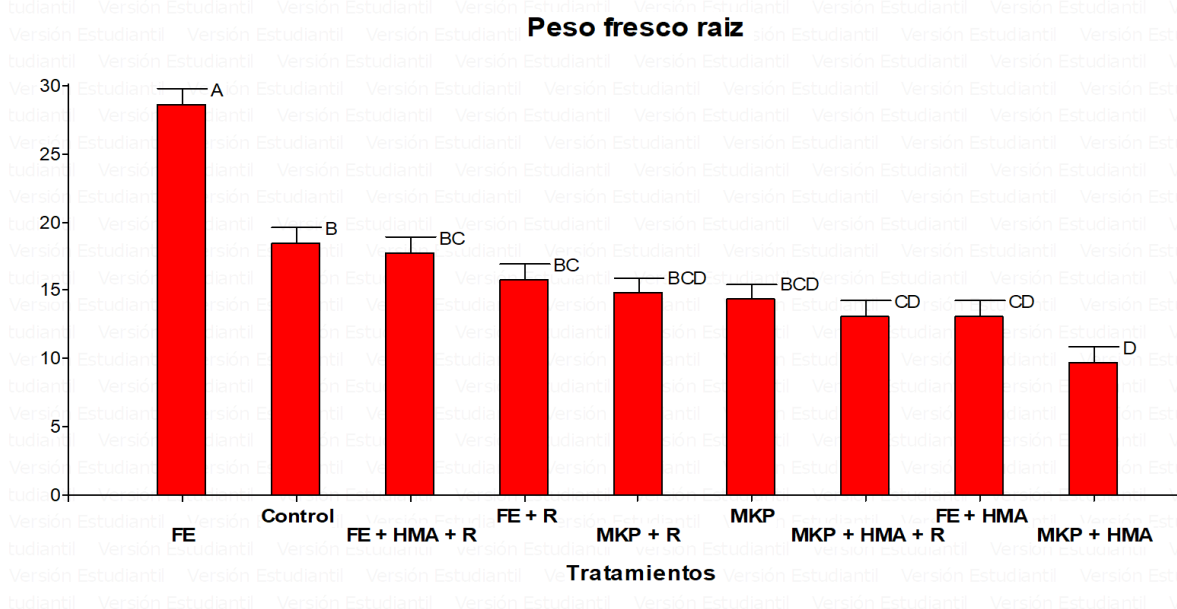


Figura 32. Promoción de crecimiento en tomate por peso fresco raíz en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.6 Peso seco raíz

Para los datos de peso seco de la raíz se observa en la Figura 33 que los tratamientos de Control con FE (Fertilizante encapsulado MKP) tiene los valores más altos a comparación de los demás tratamientos, se presentan con cierta similitud los tratamientos de FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria) y FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) teniendo valores casi similares, los que le siguen debajo son MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria) y MKP + HMA (P convencional y micorriza) estos tuvieron un comportamiento similar entre ellos y los tratamientos con los valores más bajos son MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria) y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Se obtuvieron comportamientos similares entre los tratamientos de los fertilizantes con los microorganismos en comparación al Control y el FE (Fertilizante encapsulado MKP), la combinación de los fertilizantes con los microorganismos demuestra el efecto en el peso seco de la raíz.

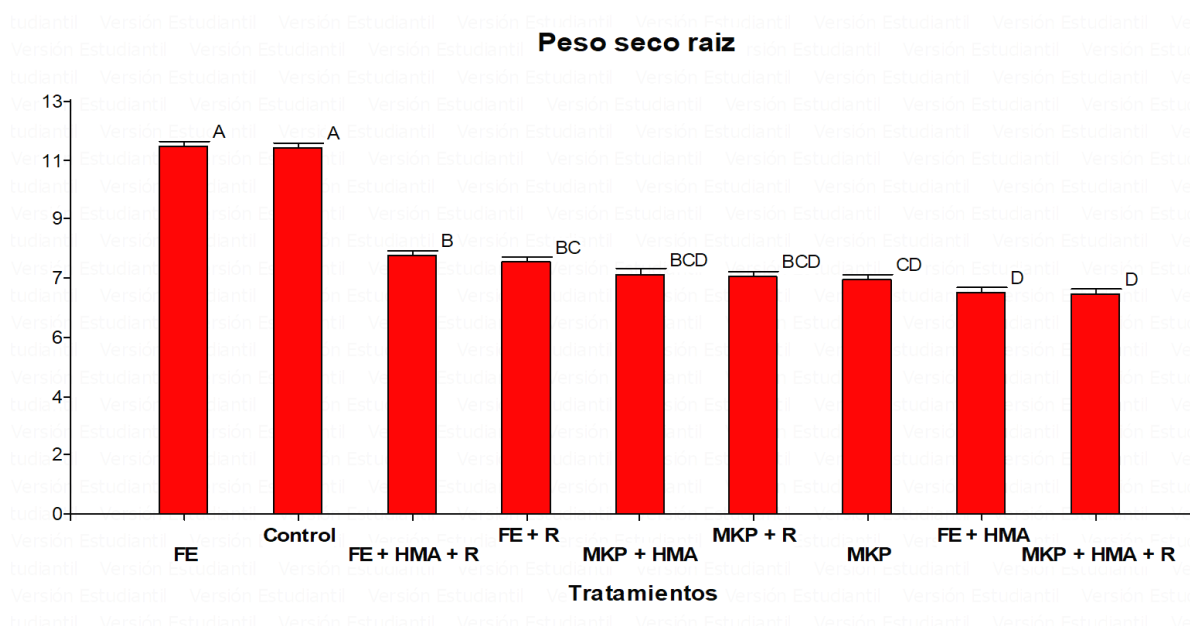


Figura 33. Promoción de crecimiento en tomate por peso seco radicular en gramos. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P

convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza).
Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.6.1 Resultado de la sinergia de los fertilizantes FE y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

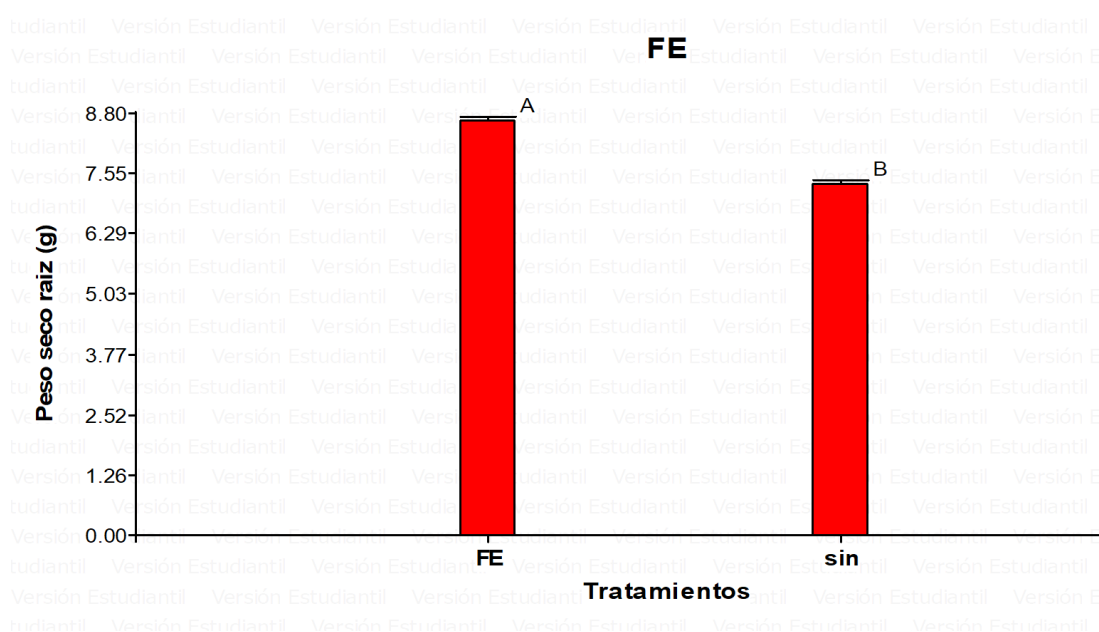


Figura 34. Se presenta resultado de la sinergia de FE que muestra un valor más alto mostrando diferencia significativa.

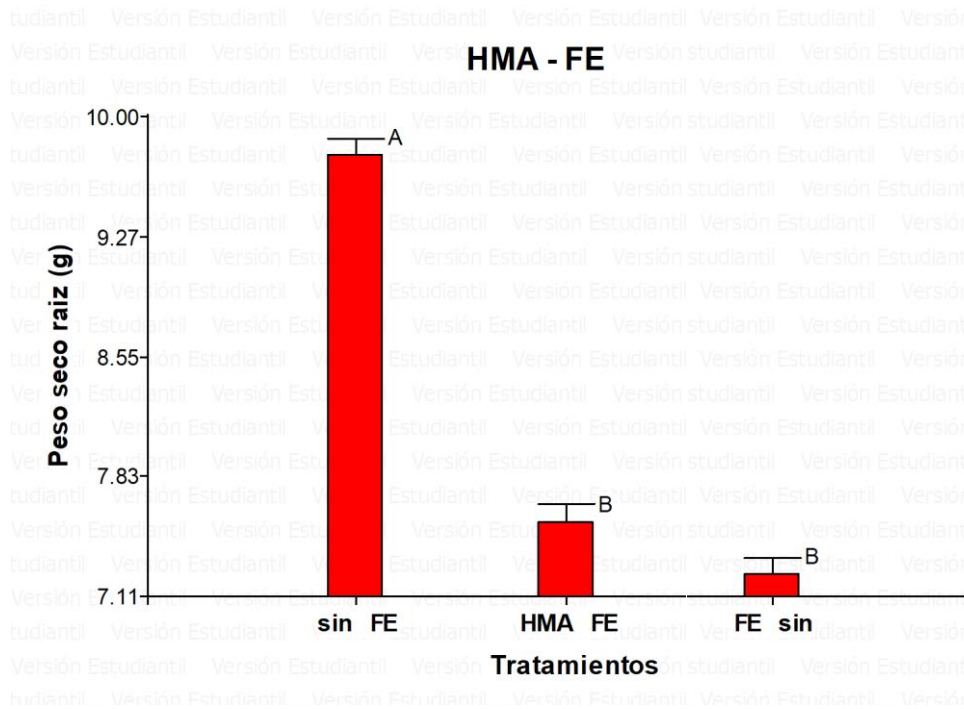


Figura 35. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE, siendo el valor más alto el de FE individual, HMA solo y de manera combinada muestra cierta similitud no teniendo diferencias estadísticas entre ellos.

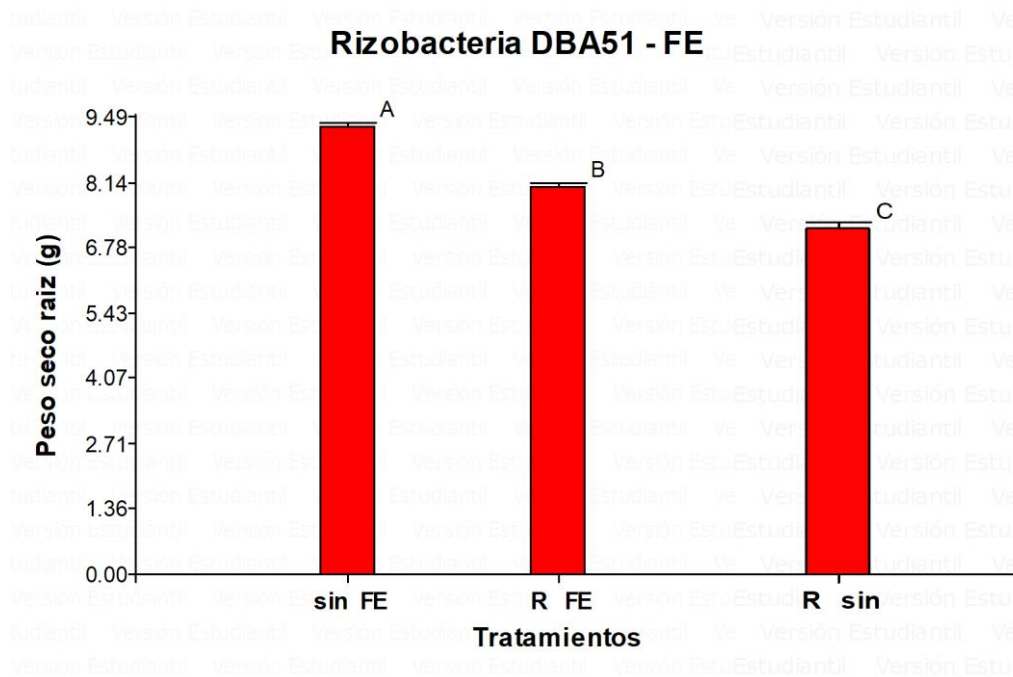


Figura 36. Se presentan resultados de la sinergia entre la rizobacteria DBA51 y FE, donde la combinación de estos dos tiene un valor intermedio siendo diferente estadísticamente a los individuales.

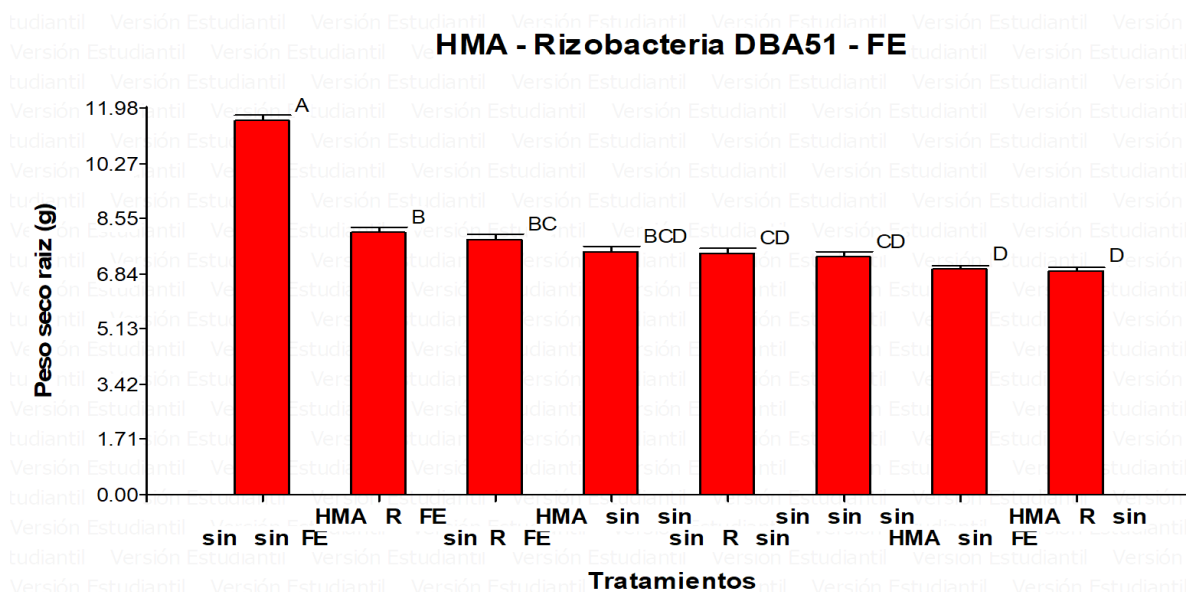


Figura 37. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

V.I.I.7 Fotosíntesis

Se presentan datos de fotosíntesis en la Figura 38, donde se muestran los niveles de actividad fotosintética para nueve tratamientos diferentes (T1 a T9). La barra de error en cada columna indica la variabilidad de los datos, esto por los diferentes tratamientos donde el valor más alto significativamente es el del tratamiento MKP (P convencional), seguido de MKP + R (P convencional y rizobacteria), el tratamiento de control absoluto es el que continua por debajo de los antes mencionados y con los valores más bajos de tasa fotosintética están los tratamientos FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Los tratamientos de MKP y MKP + rizobacteria destacan por tener las tasas de fotosíntesis más altas, lo que sugiere que las condiciones experimentales son más óptimas para la fotosíntesis,

seguido de tratamiento de control absoluto que indico menos tasa fotosintética bajo las condiciones aplicadas.

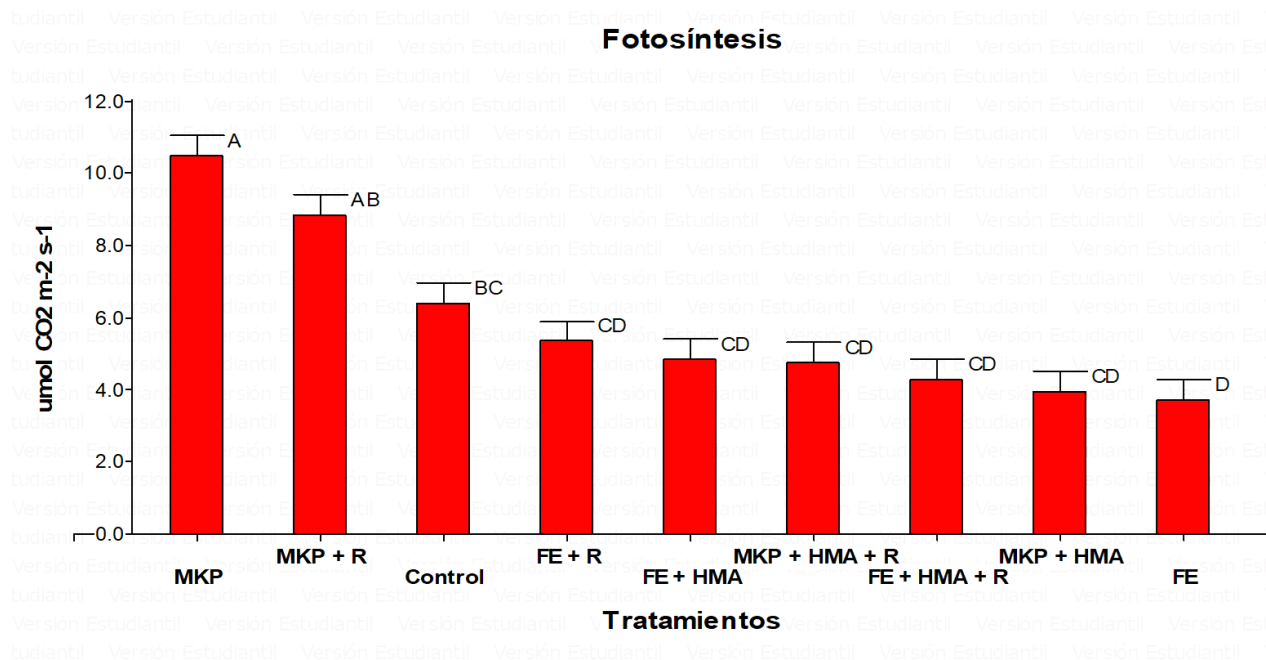


Figura 38. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de fotosíntesis. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.7.1 Resultados de la sinergia de los fertilizantes Fe y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

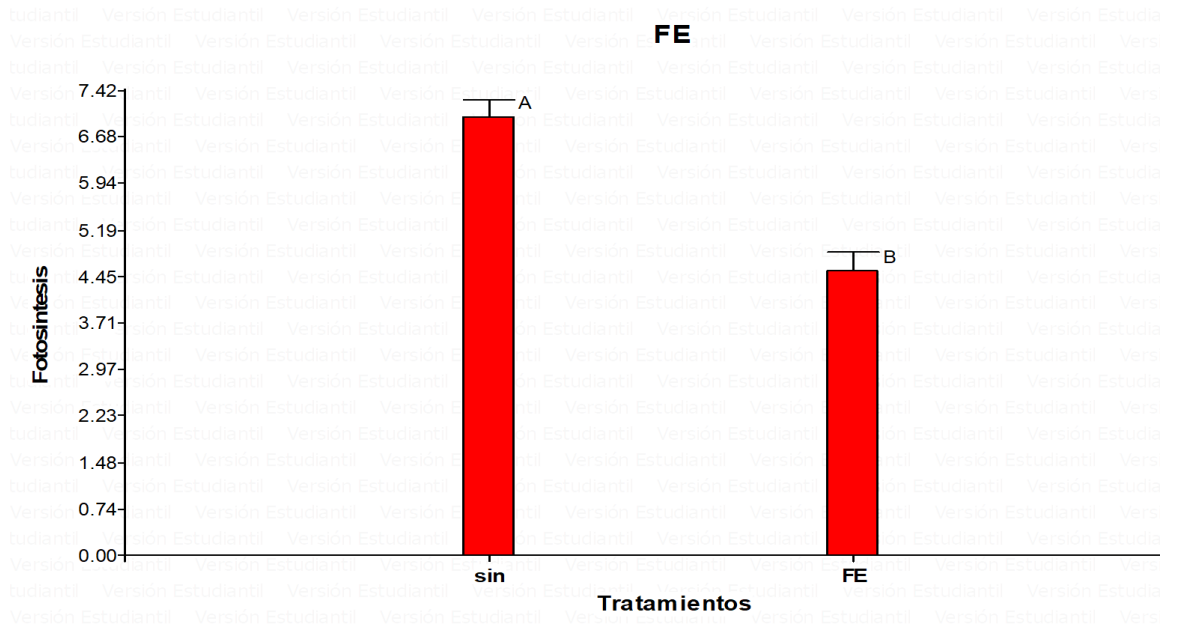


Figura 39. Se presenta resultado de sinergia en tratamientos sin y con FE, los cuales muestran diferencias estadísticas, teniendo un valor más alto el tratamiento sin FE.

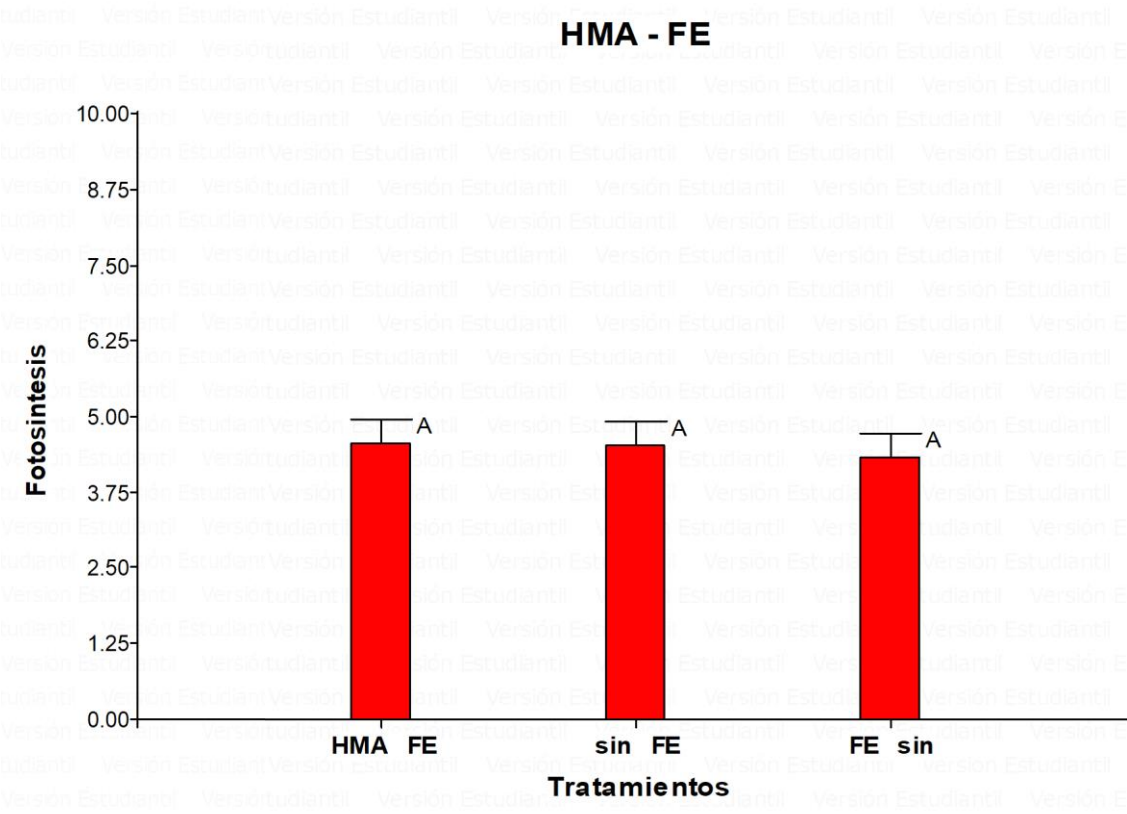


Figura 40. Se presenta resultados de la sinergia entre los HMA y FE los cuales muestran similitud no teniendo diferencia estadística de forma individual y de forma conjunta.

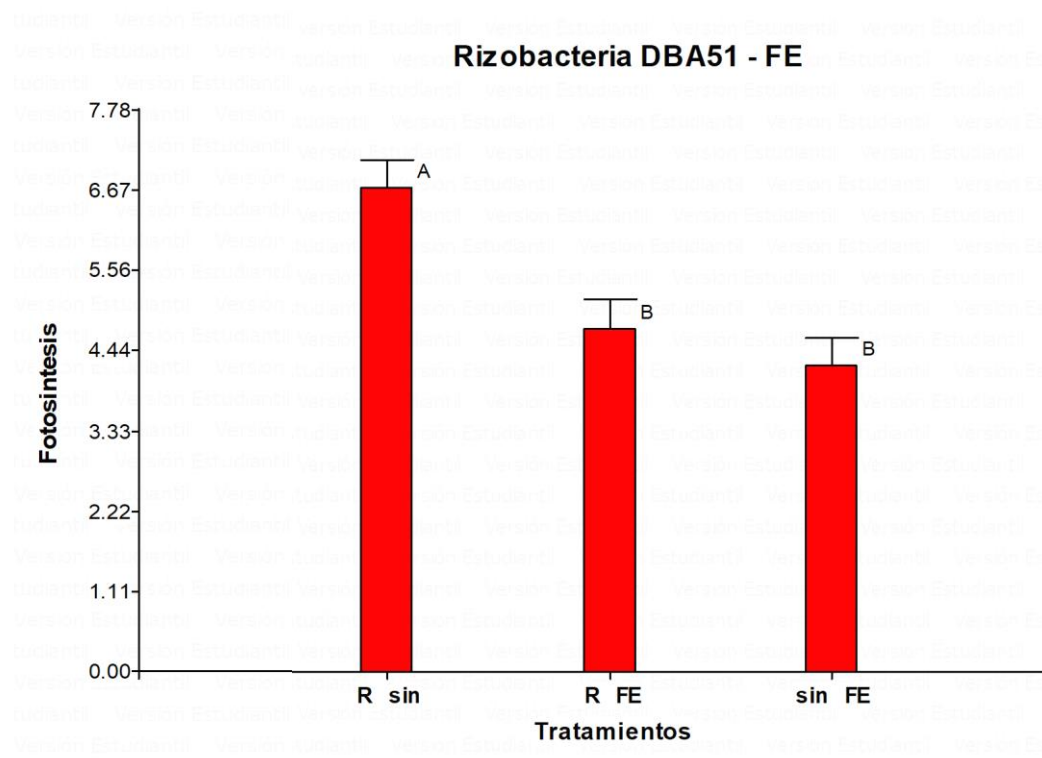


Figura 41. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE, donde R tiene el valor más alto con diferencias estadísticas a los demás, FE de manera combinada o individual tiene cierta similitud sin diferencias estadísticas.

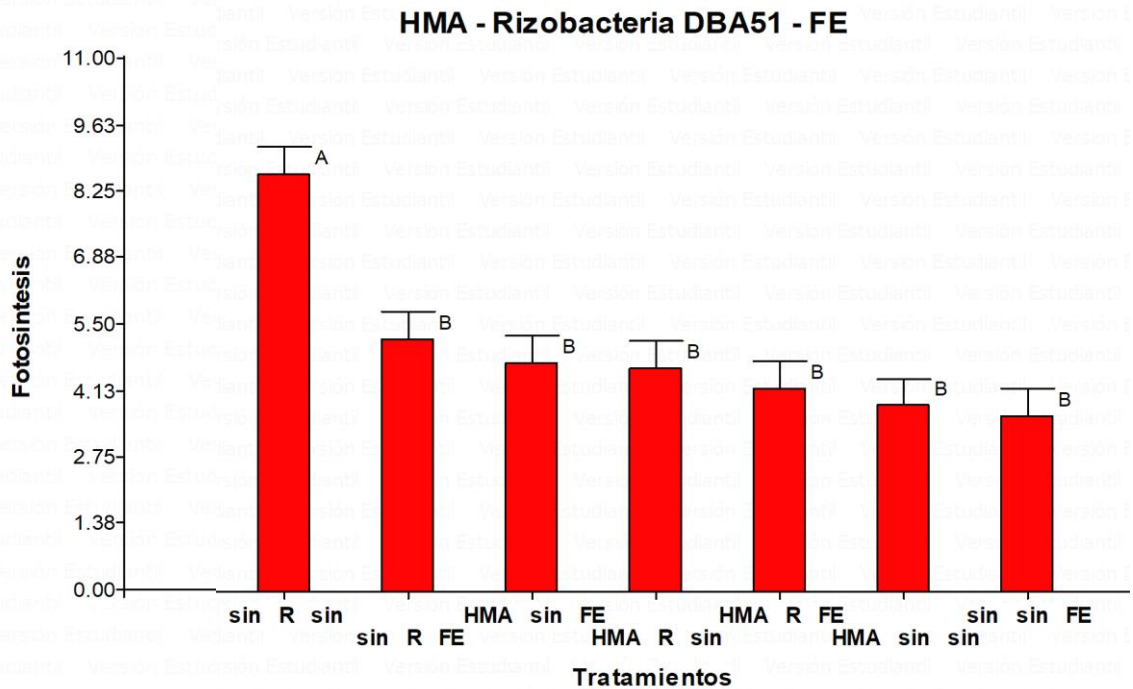


Figura 42. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

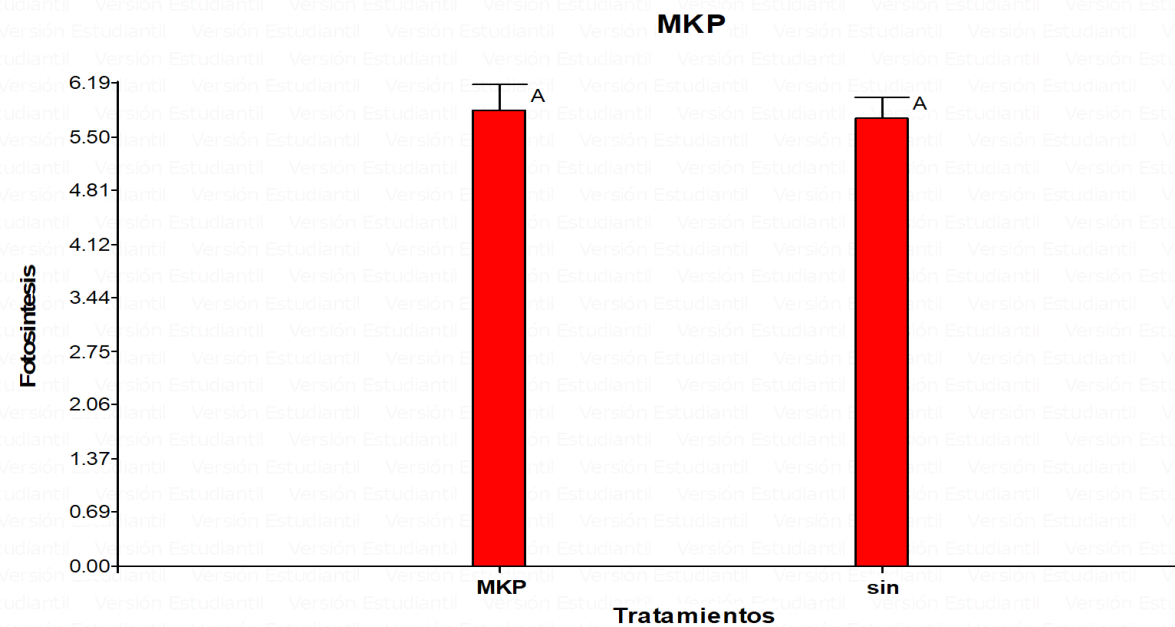


Figura 43. Se presenta resultado de la sinergia del fertilizante MKP, en el cual no hay diferencias estadísticas al tratamiento sin MKP.

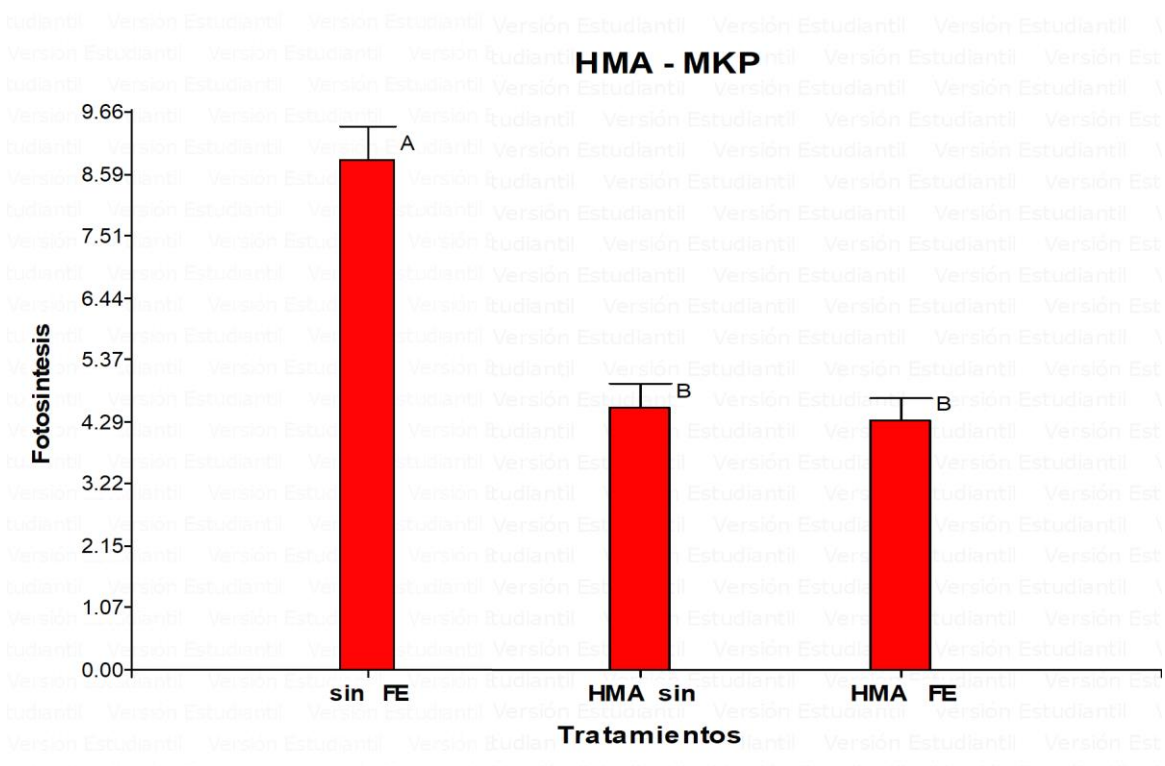


Figura 44. Se presenta resultados de sinergia entre los HMA y FE, se aprecia que el Fe individual tiene diferencia estadística a los demás, los HMA solo y combinado con FE muestran similitud no teniendo diferencias estadísticamente.

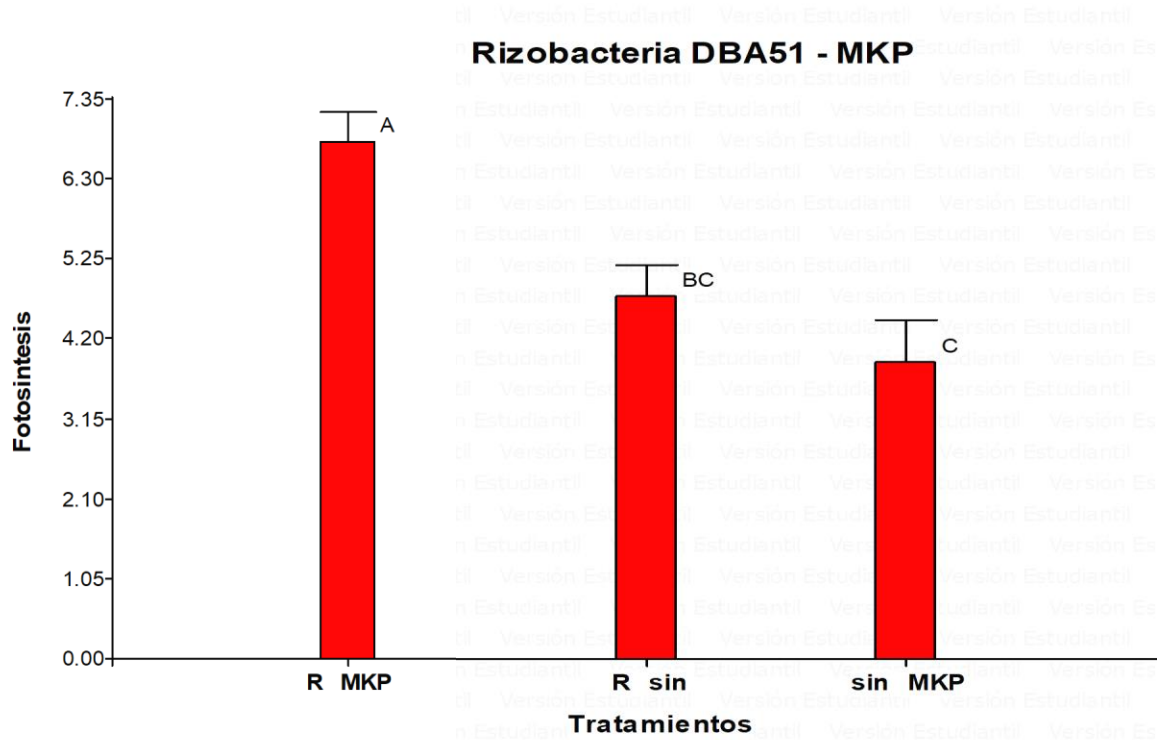


Figura 45. Se presenta resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y MKP, donde el resultado más alto es la combinación de estos, tenido diferencias significativas en donde están de manera individual.

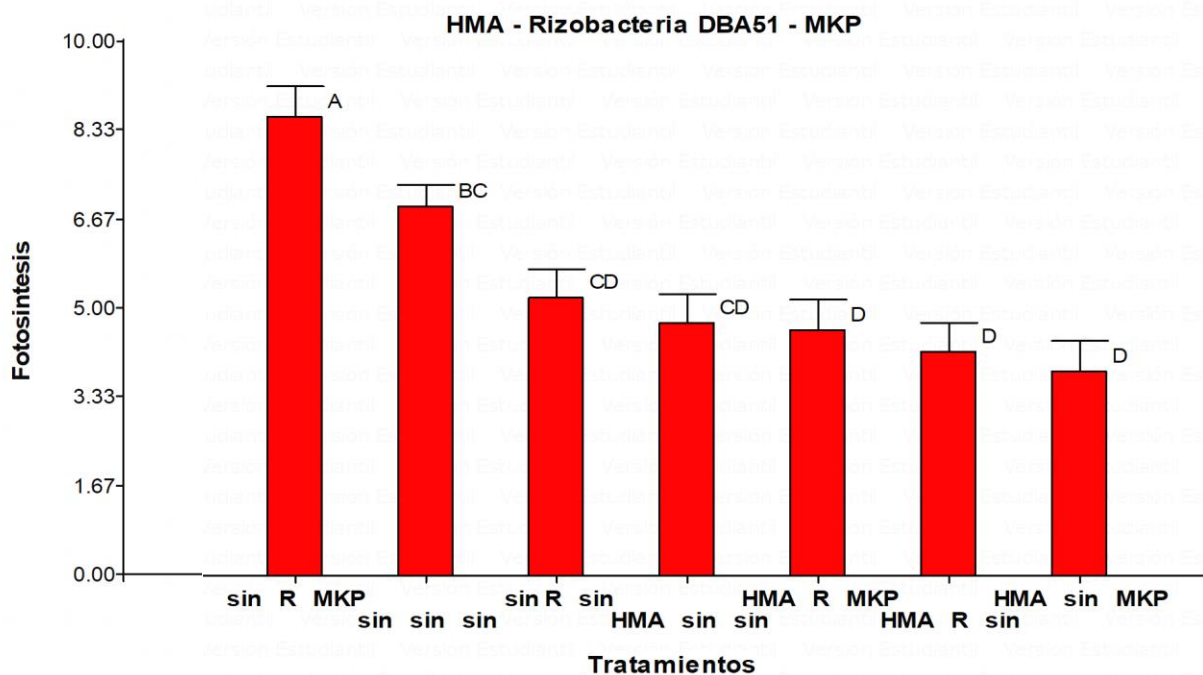


Figura 46. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.

V.I.I.8 Cónductancia estomática

El grafico de la Figura 47 se muestra la cónductancia estomática en diferentes tratamientos aplicados a las plantas, las barras indican los valores medios de la cónductancia estomática donde el tratamiento de MKP muestra la mayor cónductancia estomática significativamente, este va seguido de los tratamientos de MKP + R (P convencional y rizobacteria) y FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) que muestran la misma tendencia, por debajo de estos se encuentran los tratamientos de control absoluto y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza) que tiene valores similares, los tratamientos debajo de los antes mencionados son FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria y MKP + HMA (P convencional y micorriza) mostrando similitud y con los valores mas bajos en cónductancia estomática estan los tratamiemtos de MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria) y FE (Fertilizante encapsulado MKP). El tratamiento de MKP muestra el valor con la mayor cónductancia

estomática, sugiriendo una mayor apertura estomática. Los tratamientos con combinaciones de FE, HMA y Rizo tienden a mostrar conductancias más bajas, indicando una menor apertura estomática.

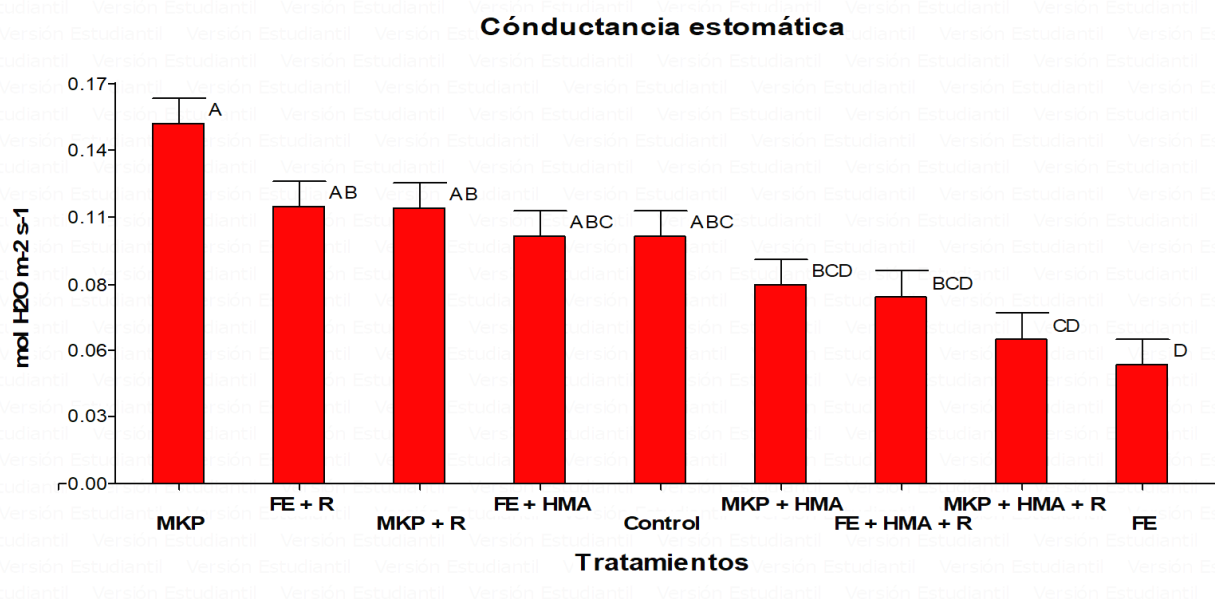


Figura 47. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de conductancia estomática. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.

V.I.I.8.1 Resultado de la sinergia de los fertilizantes Fe y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

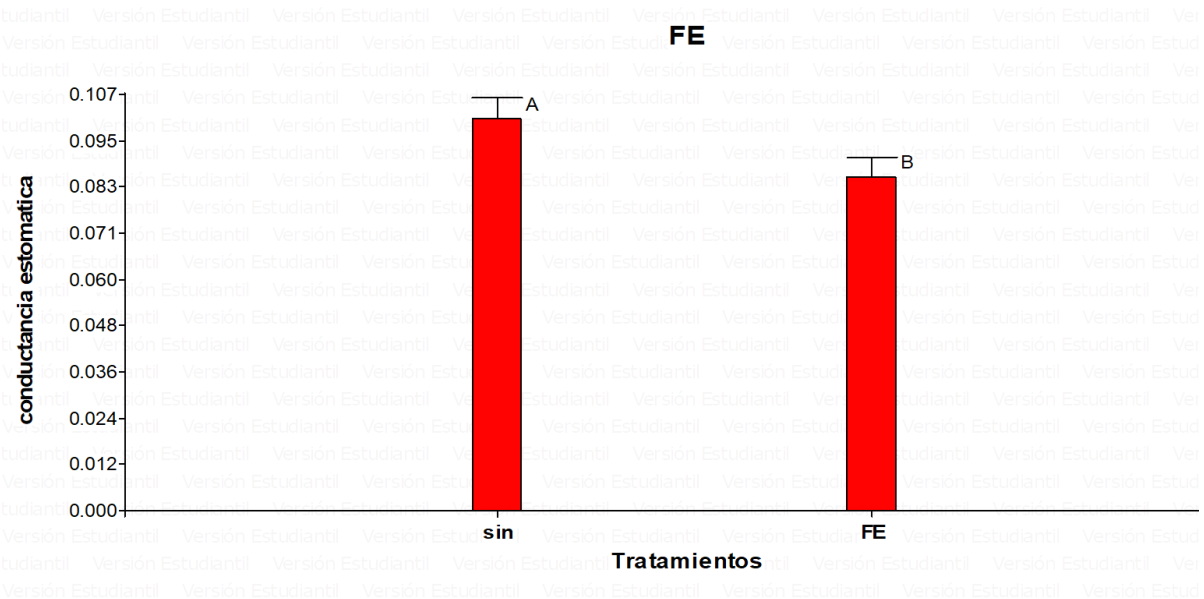


Figura 48. Se presenta resultado de tratamientos sin y con FE, los cuales tiene diferencias estadísticas siendo el más bajo el FE.

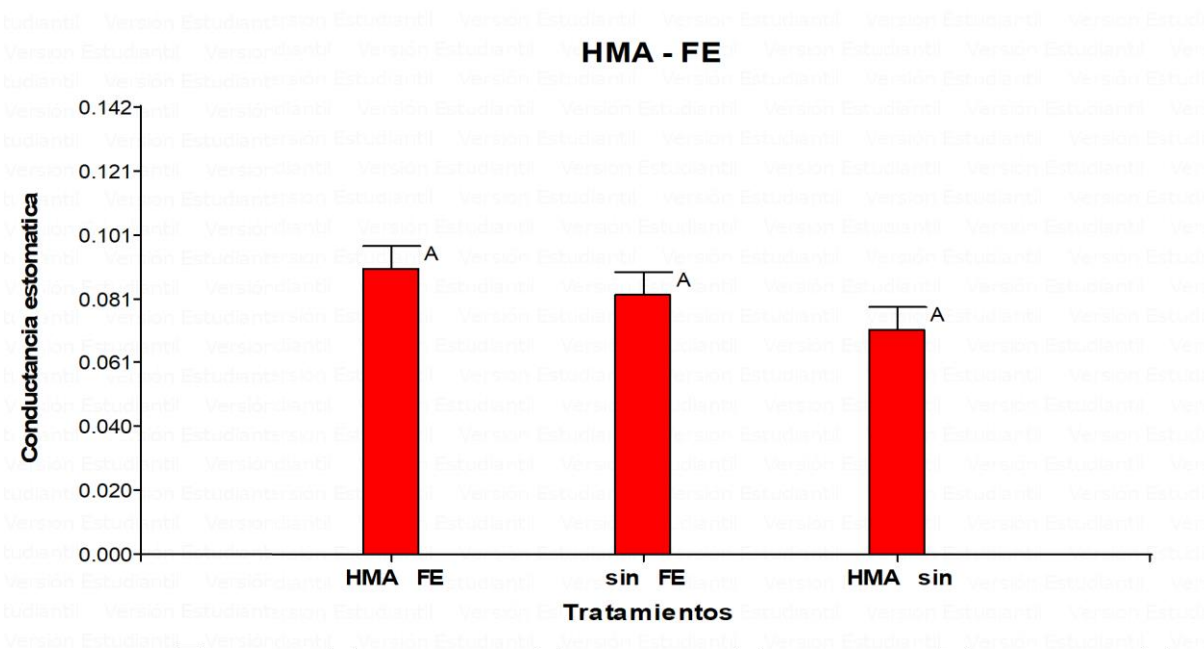


Figura 49. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE los cuales tiene cierta similitud, en combinación y de forma individual no teniendo diferencias estadísticas.

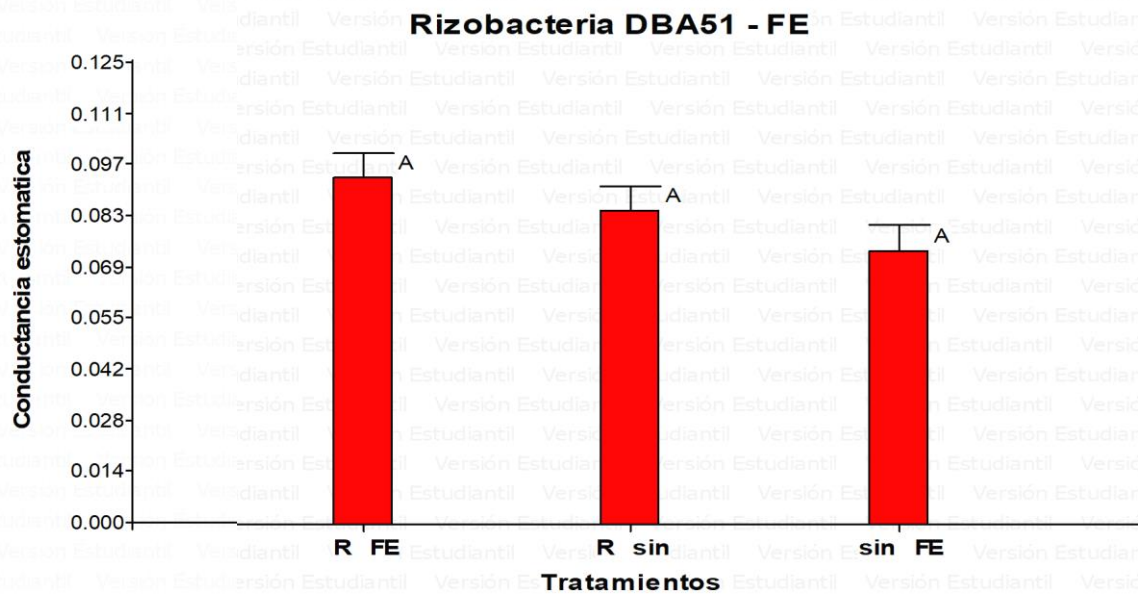


Figura 50. Se presenta resultado de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE donde se muestra cierta similitud entre ellos, no teniendo diferencia estadística.

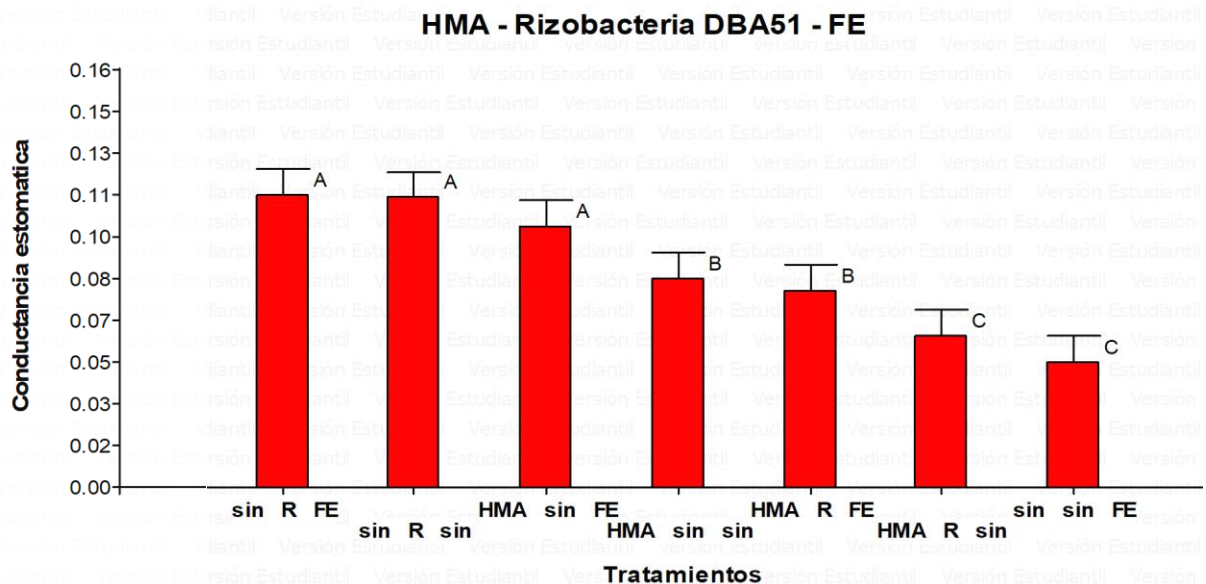


Figura 51. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

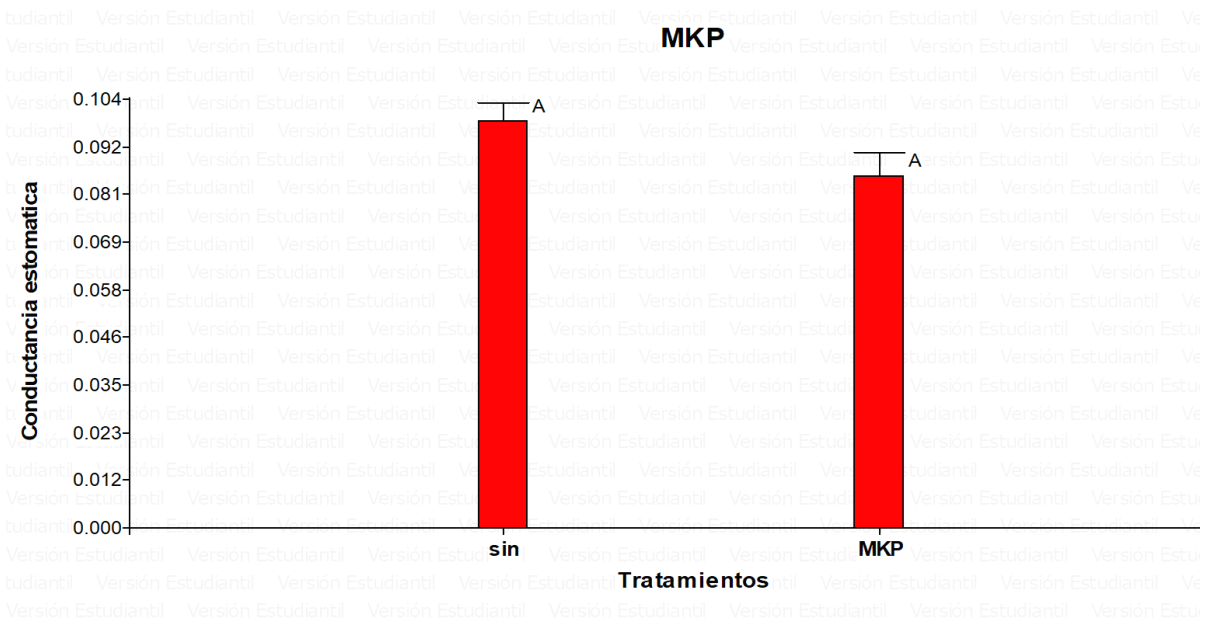


Figura 52. Se presenta resultado de la sinergia del fertilizante MKP, de los cuales no se aprecia diferencia estadística en los tratamientos de sin y con MKP.

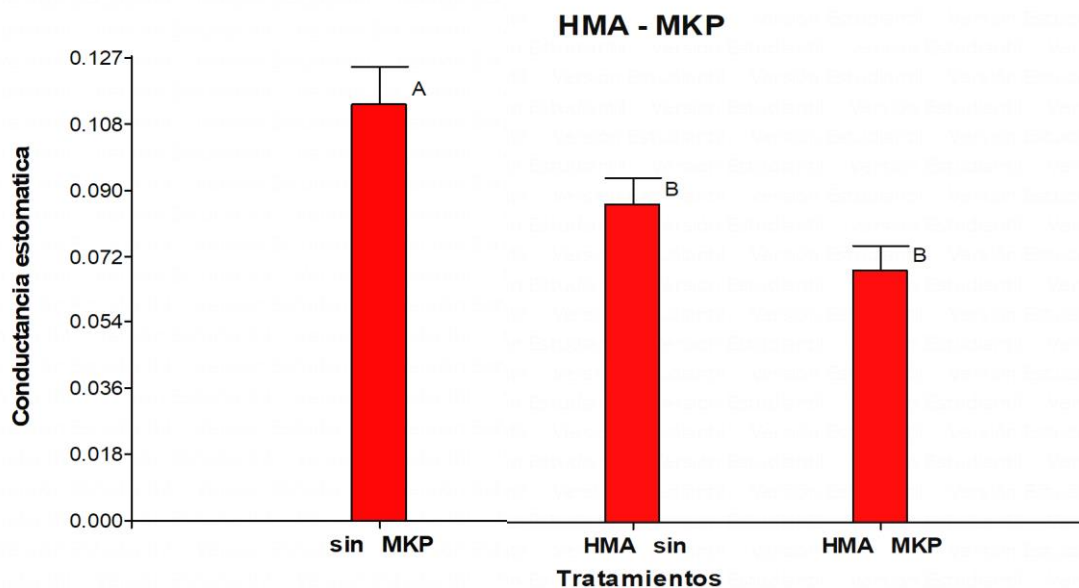


Figura 53. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y MKP, donde el valor más alto con diferencia estadística es de MKP individual, el HMA solo y combinado tiene cierta similitud no mostrando diferencia estadística.

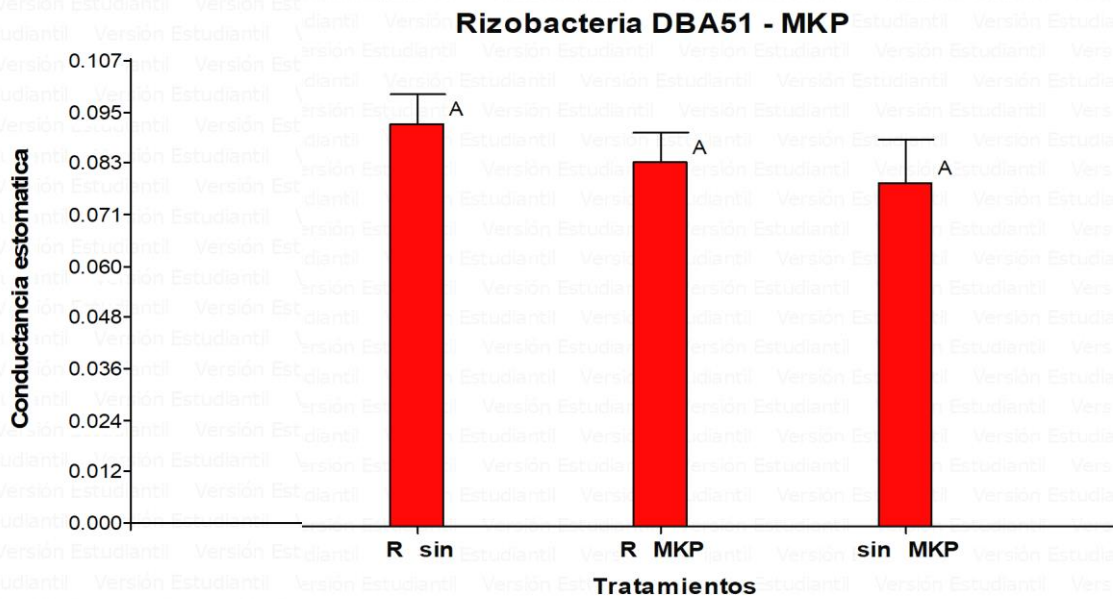


Figura 54. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA5 y MKP de los cuales de forma individual y combinada muestran cierta similitud no teniendo diferencias estadísticas entre ellos.

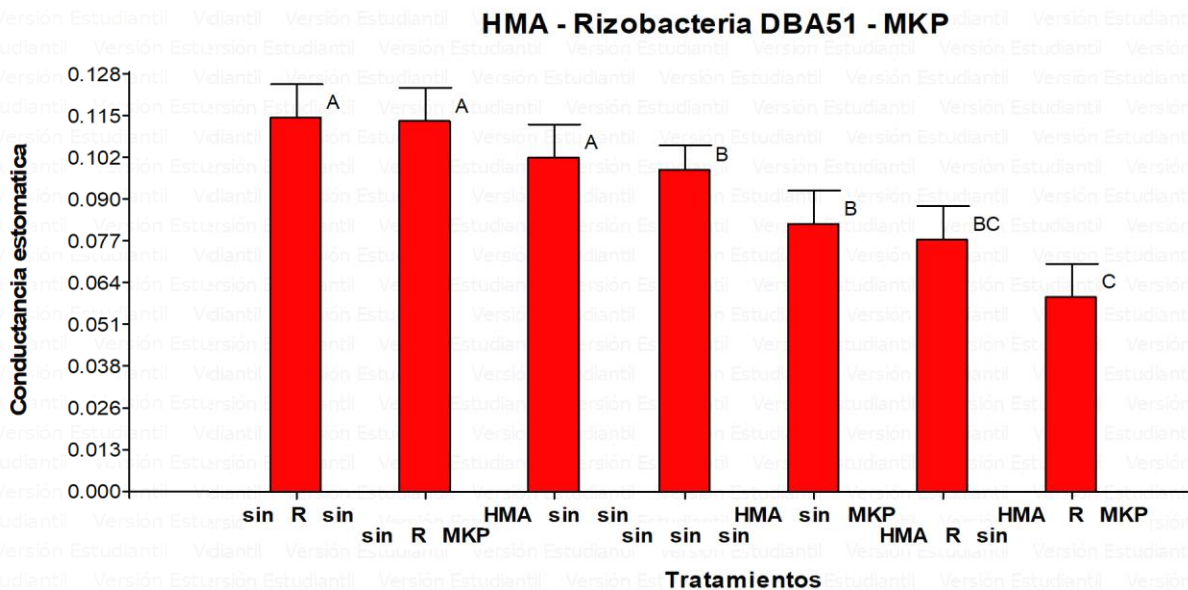


Figura 55. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.

V.I.I.9 Transpiración

En el siguiente grafico de la Figura 56 se muestra la tasa de transpiración en los diferentes tratamientos aplicados a las plantas indicando los valores medios de la transpiración en cada barra, el valor significativo mas alto se presenta en el tratamiento de MKP (P convencional) seguido de FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria) que al igual muestra un valor alto, por debajo de este se encuentra el tratamiento de control absoluto con el tratamiento MKP + R (P convencional y rizobacteria) que muestran una tendencia similar en sus valores, los tratamientos de FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria) y MKP + HMA (P convencional y micorriza) se expresan con cierta tendencia en los valores medios de cada barra y con el valor más bajo esta el tratamiento de FE (Fertilizante encapsulado MKP). Los tratamientos con MKP y FE + Rizo muestran las tasas de transpiración más altas, sugiriendo que estos tratamientos promueven una mayor pérdida de agua a través de la transpiración. Por otro lado, los tratamientos con FE y combinaciones de HMA tienden a mostrar tasas de transpiración más bajas, indicando una menor transpiración.

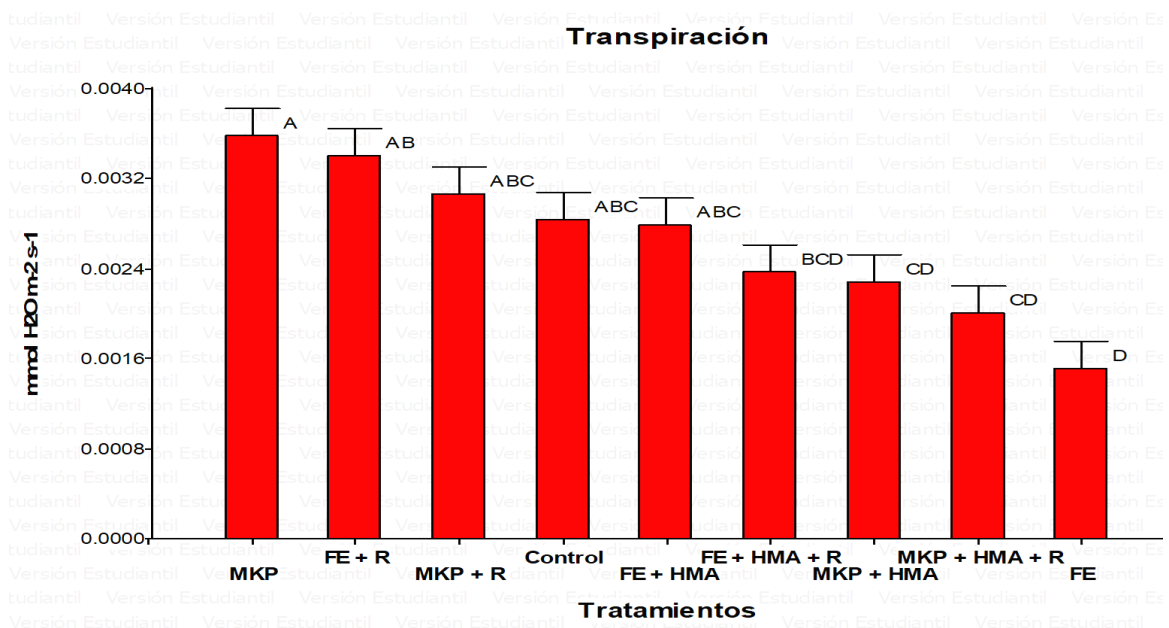


Figura 56. Promoción de crecimiento en tomate parámetros de transpiración. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y

rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con $n = 10$.

V.I.I.9.1 Resultados de sinergia de los fertilizantes FE y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

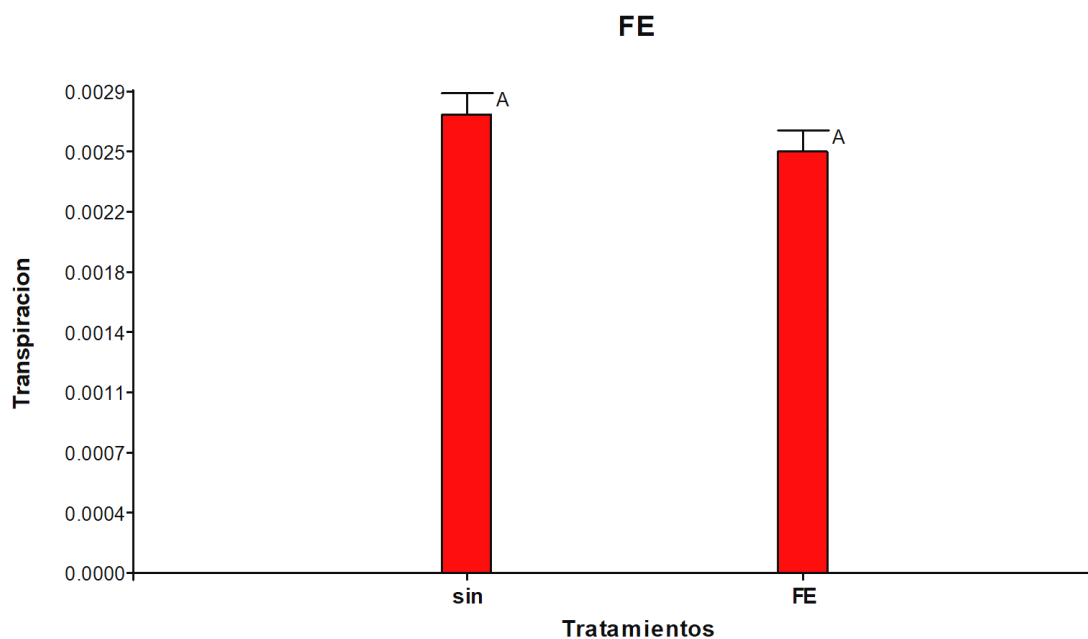


Figura 57. Se presenta resultado de sinergia de FE, donde se muestra similitud no teniendo diferencia estadística entre sin y con FE.

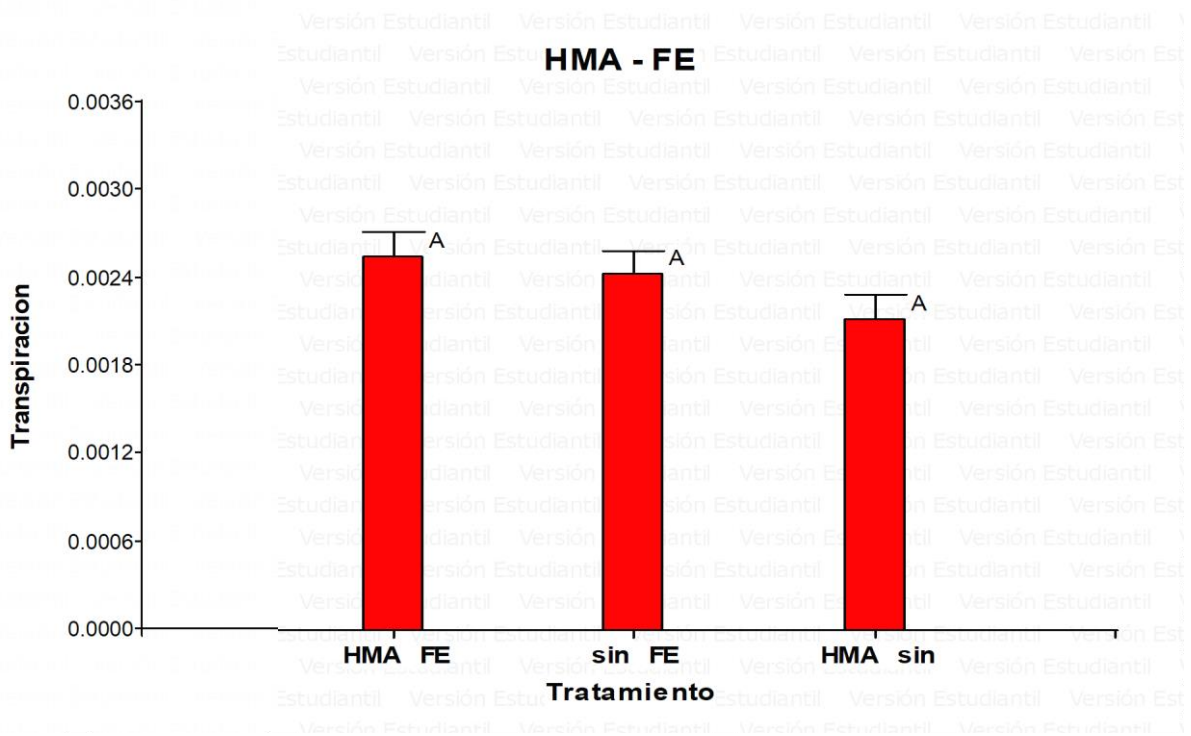


Figura 58. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y FE, donde de manera combinada he individual muestran cierta tendencia no observando diferencias estadísticas entre ellos.

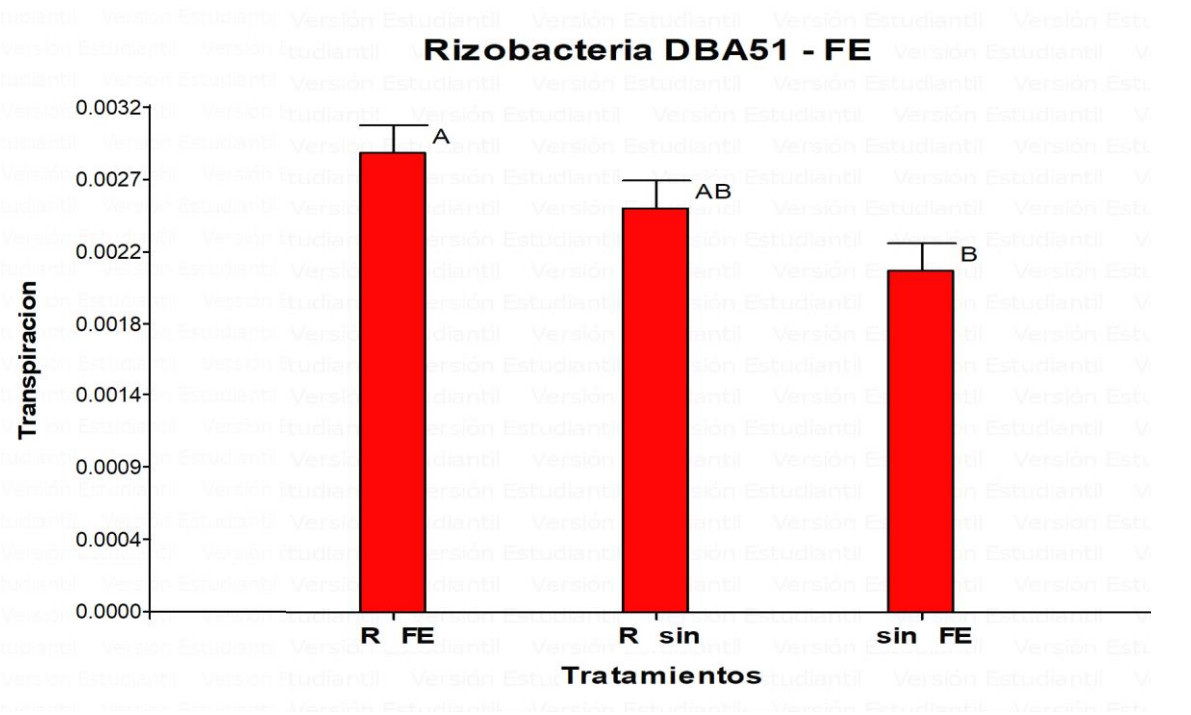


Figura 59. Se presentan resultados de la sinergia entre rizobacteria DBA51 y FE donde la combinación de estos tiene el valor más alto a diferencia de FE individual, pero comparten cierta similitud con R individual.

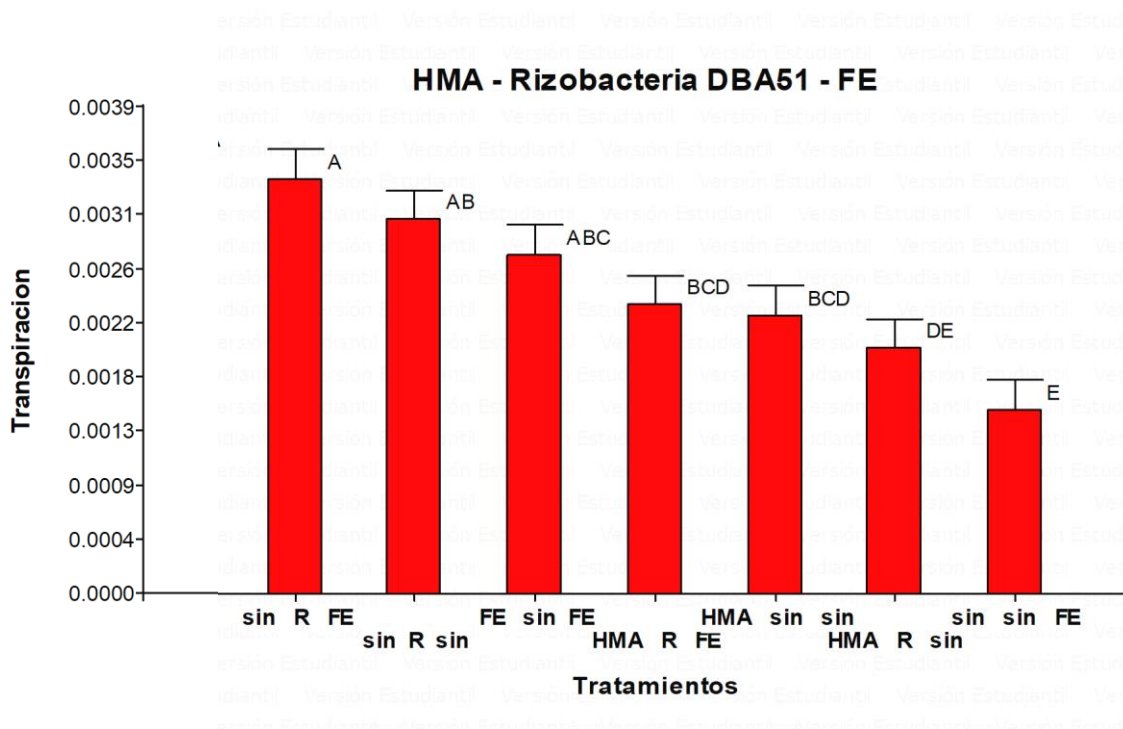


Figura 60. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

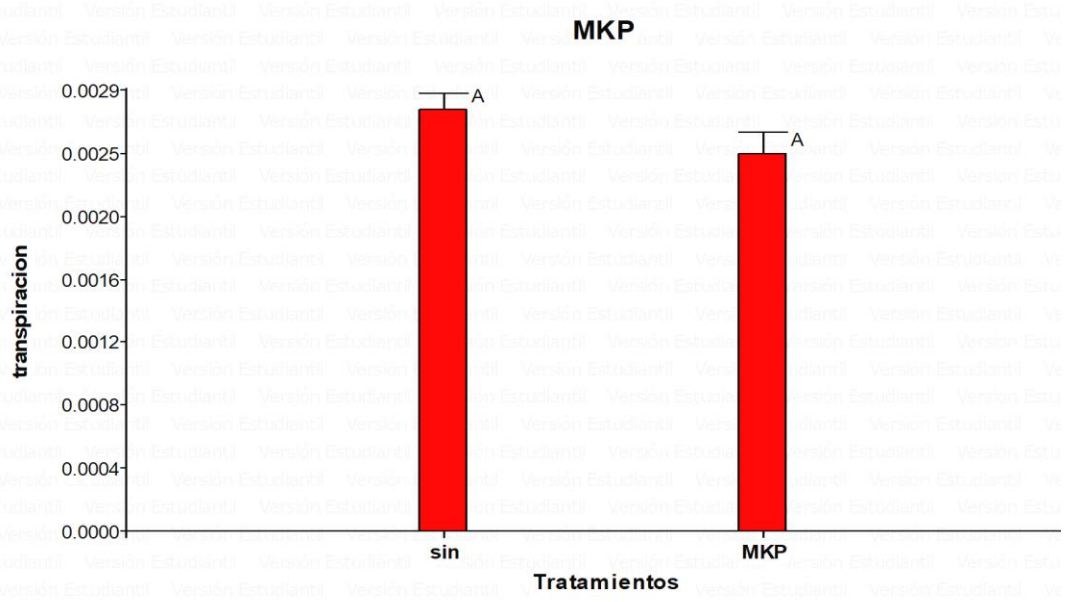


Figura 61. Se presenta resultado de sinergia del fertilizante MKP comercial, donde se muestra similitud no teniendo diferencia estadística.

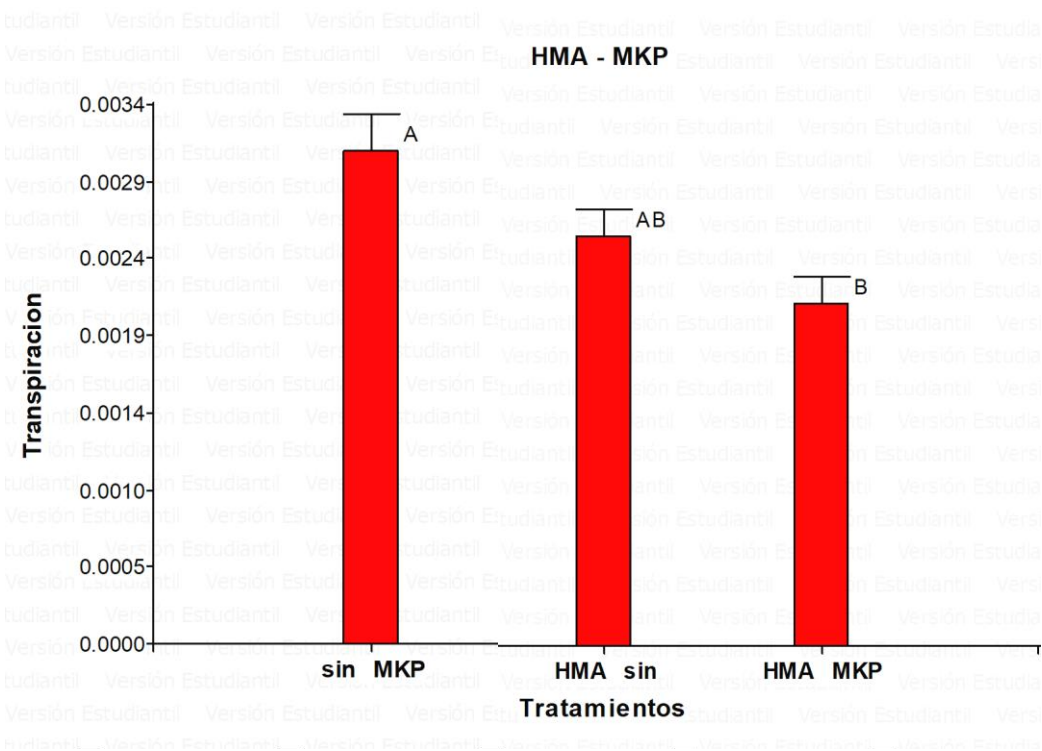


Figura 62. Se presentan resultados de sinergia entre HMA y MKP, donde MKP individual tiene diferencia estadística con HMA y MKP combinados, pero estos muestran cierta similitud con HMA solo.

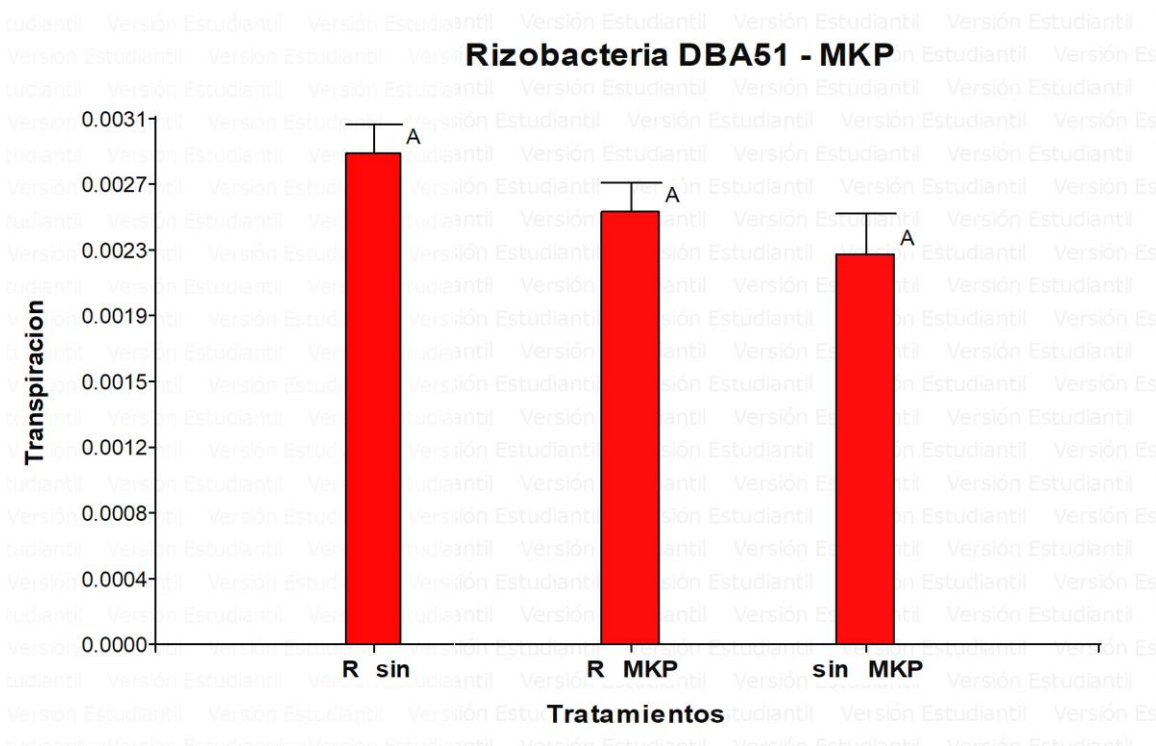


Figura 63. Se presentan resultados de sinergia entre rizobacteria y MKP, donde las tres combinaciones muestran cierta similitud no observado diferencia estadística entre ellos.

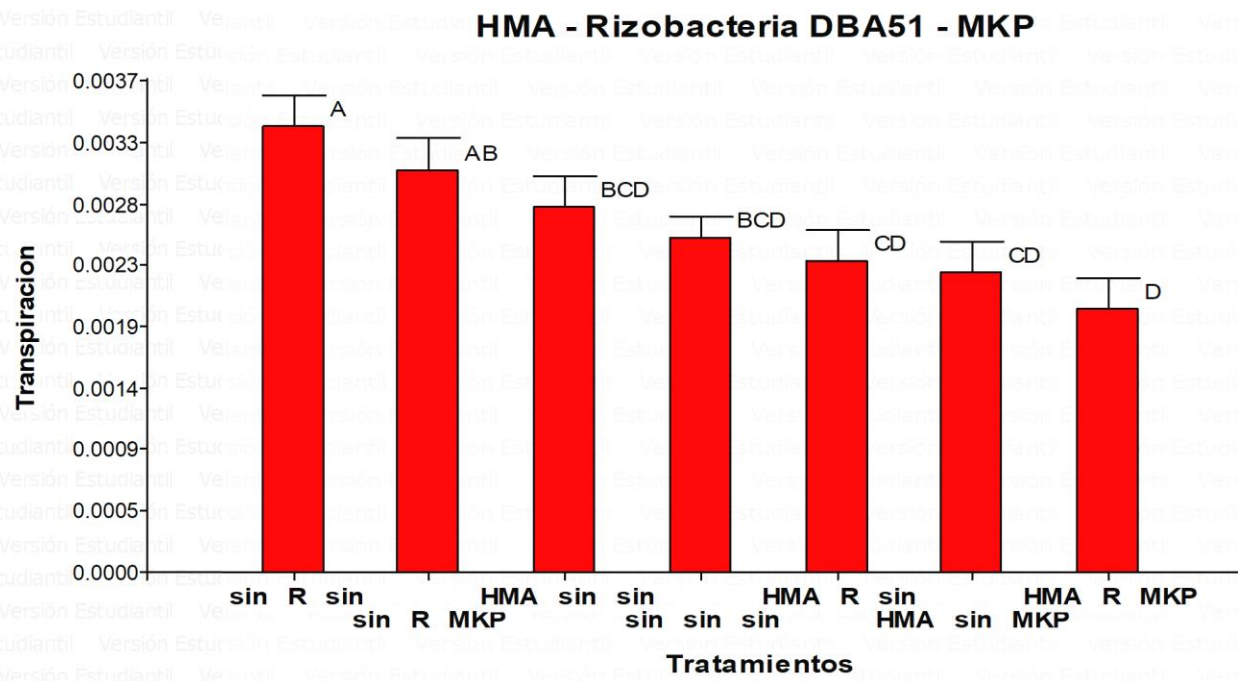


Figura 64. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.

V.1.2 Cuantificación del fósforo

De las muestras recolectadas, molidas y almacenadas en bolsas de papel de todos los tratamientos se enviaron al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmosfera (CENID RASPA, Inifap). Los resultados de la cuantificación de fósforo en plantas de tomate es una parte fundamental del estudio para evaluar la absorción y disponibilidad de fósforo bajo diferentes tratamientos, con este análisis se compara la absorción de fósforo en las plantas sometidas a diferentes tratamientos con el objetivo de evaluar la efectividad del fertilizante micro-encapsulado MKP contra el fertilizante comercial MKP. Se presenta el grafico de la Figura 65 de resultados de la cuantificación de fósforo de todos los tratamientos donde se aprecia que los valores significativos más altos son en los tratamientos del fertilizante encapsulado (FE) solo y en combinación con los microorganismos benéficos, observando una tendencia similar los cuatro tratamientos, para

los tratamientos del fertilizante comercial MKP y de control muestran valores más bajos en comparación al fertilizante encapsulado.

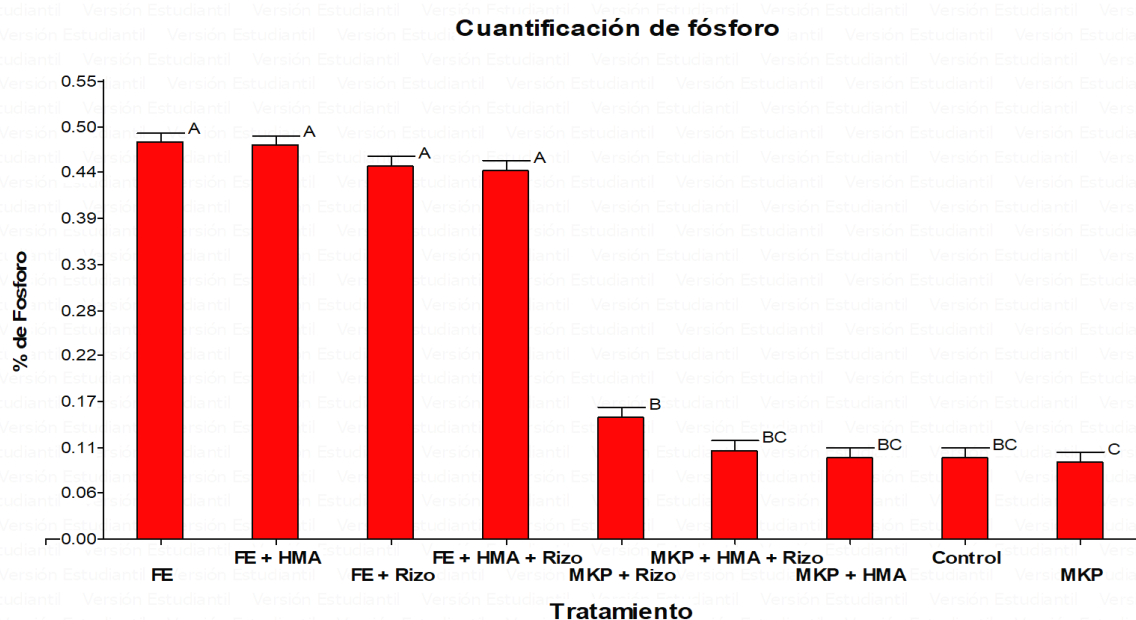


Figura 65. Cuantificación de fósforo. Los tratamientos son: Control absoluto, MKP (P convencional), MKP + R (P convencional y rizobacteria), FE + HMA + R (Fertilizante encapsulado MKP con micorriza y rizobacteria), MKP + HMA + R (P convencional con micorriza y rizobacteria), FE + R (Fertilizante encapsulado MKP y rizobacteria), FE (Fertilizante encapsulado MKP), MKP + HMA (P convencional y micorriza), y FE + HMA (Fertilizante encapsulado MKP y micorriza). Tratamientos con n = 10.

V.1.2.1 Resultados de la sinergia de los fertilizantes Fe y MKP con los microorganismos benéficos.

A continuación, se presentan resultados de la sinergia donde se compararon los efectos de los tratamientos de fertilizante micro-encapsulado y MKP con los microorganismos benéficos en sus diferentes combinaciones.

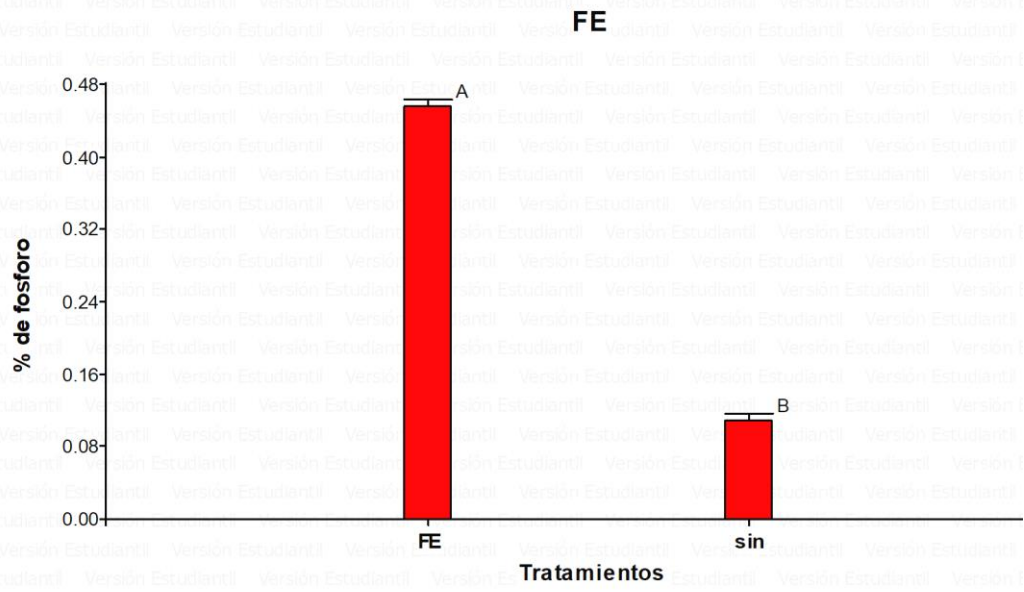


Figura 66. Se presenta resultados de la sinergia del FE, donde se muestra diferencia estadística en comparación al tratamiento sin.

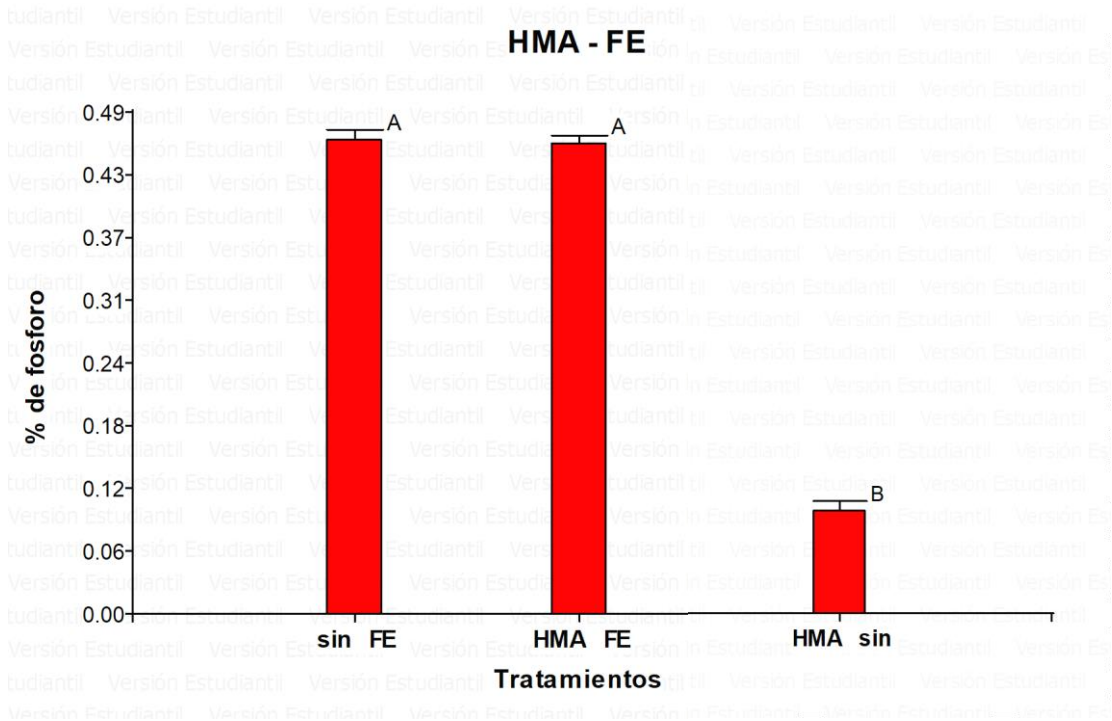


Figura 67. Se presentan resultados de la sinergia entre HMA y FE, se observa que el tratamiento FE solo y combinado con HMA tiene cierta similitud en comparación a HMA solo con el que se muestra diferencia estadística.

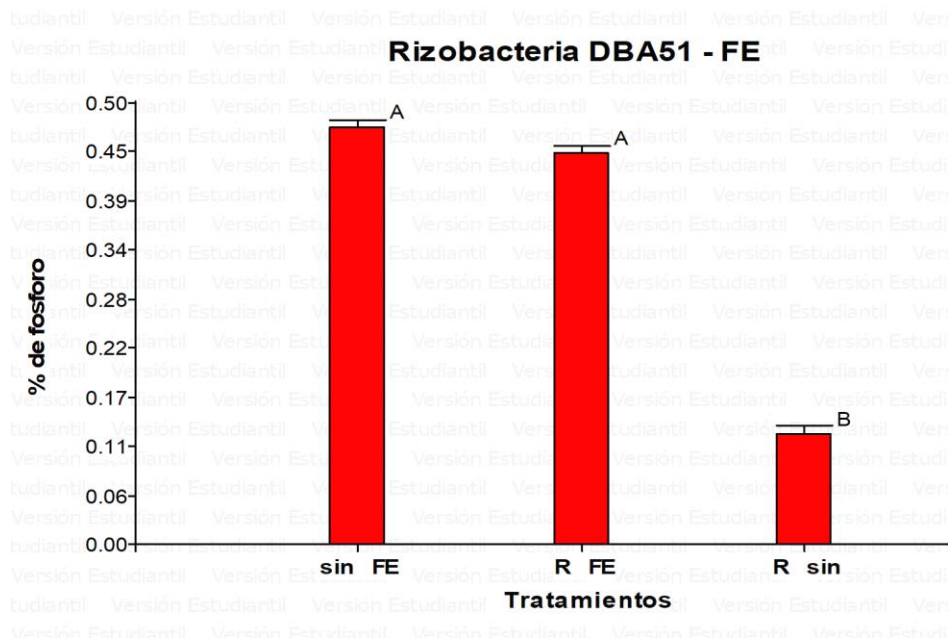


Figura 68. Se presentan resultados de sinergia de rizobacteria DBA51 con FE, donde FE individual presenta similitud con R y FE, teniendo diferencia estadística con R individual.

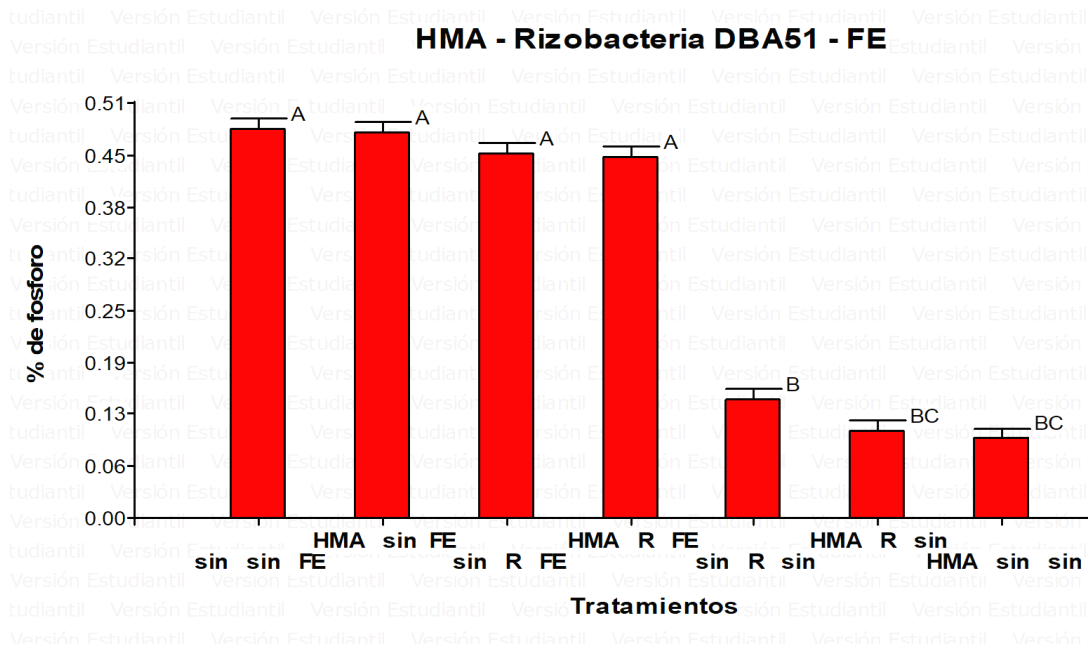


Figura 69. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y FE.

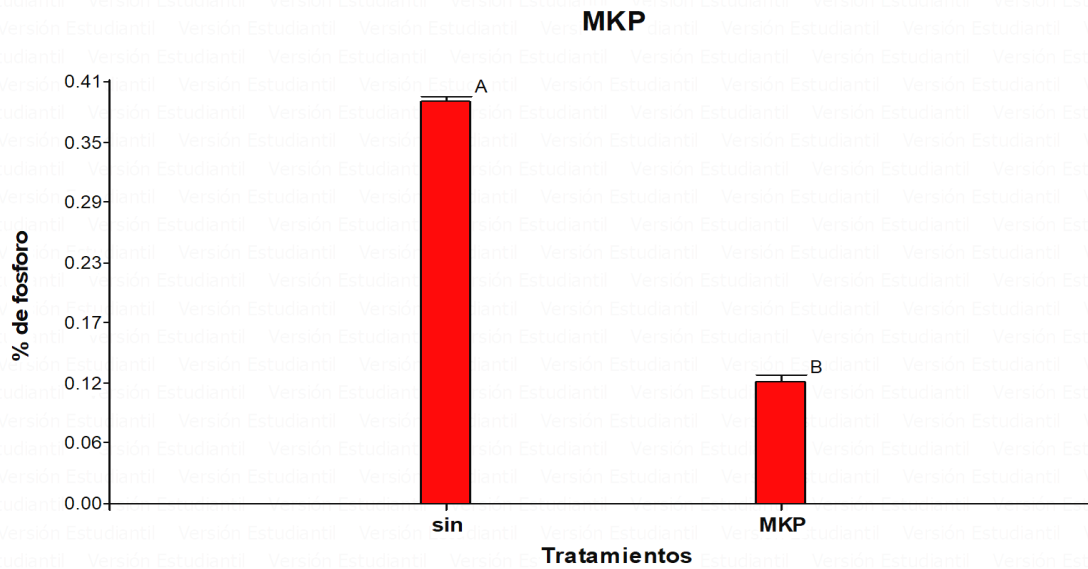


Figura 70. Se presenta resultados de la sinergia del fertilizante MKP, donde se observa diferencias estadísticas del tratamiento sin en comparación de MKP.

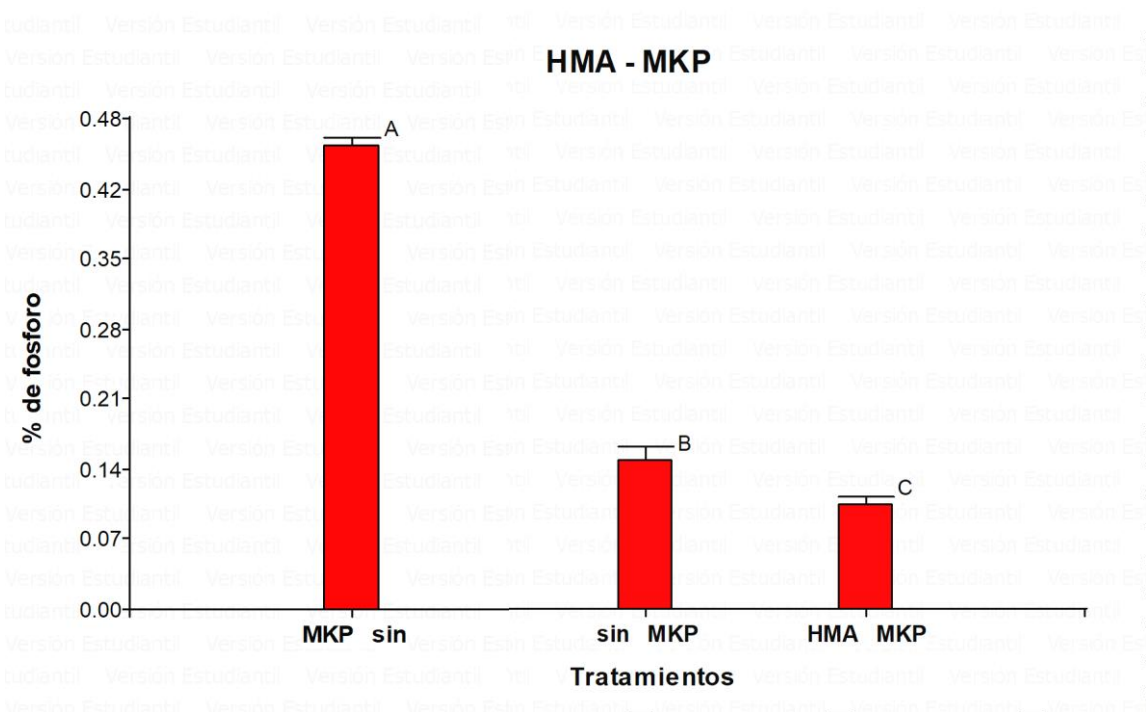


Figura 71. Se presentan resultados de sinergia de HMA y MKP, donde se observan diferencias estadísticas en las tres combinaciones, siendo la combinación de HMA y MKP el de menor valor estadístico.

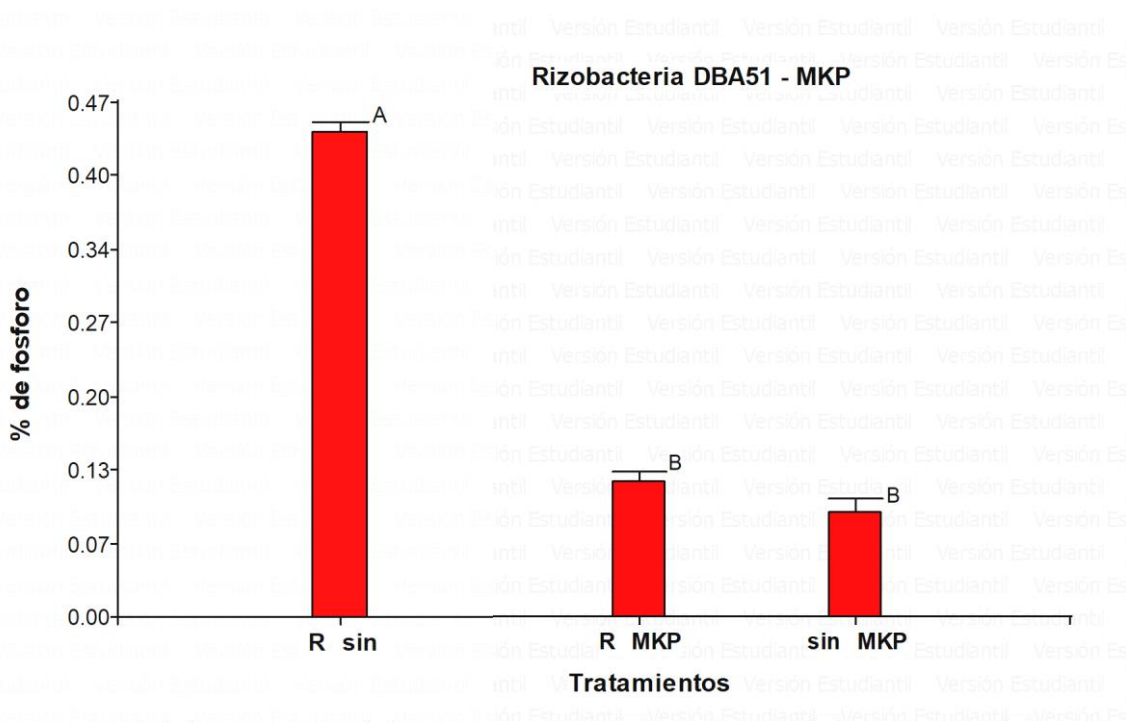


Figura 72. Se presentan resultados de sinergia de Rizobacteria DBA51 y MKP, donde se muestra que el tratamiento R es el valor más alto con diferencia estadística a R con MKP y MKP solo, que muestran cierta similitud.

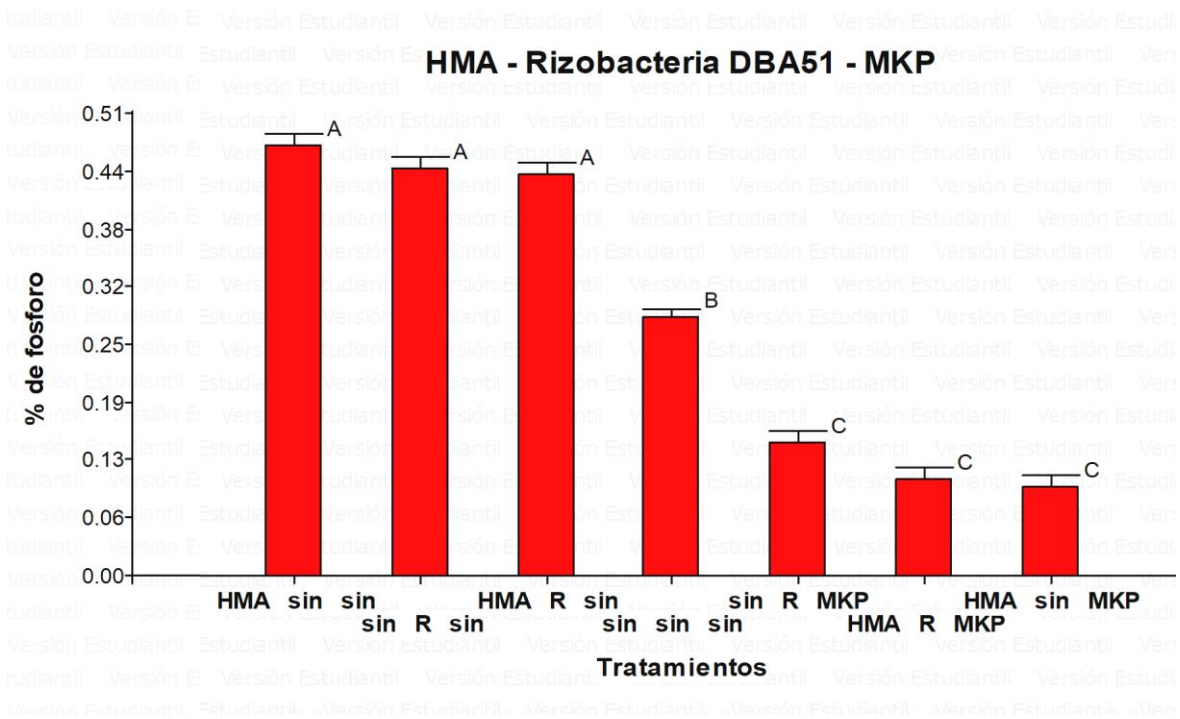


Figura 73. Gráfico de concentrado de los tratamientos y las combinaciones que se presentaron con los factores de HMA, rizobacteria DBA51 y MKP.

V.1.3 Resultados de la simbiosis de HMA con las raíces

Para los HMA se confirmó mediante la técnica de tinción de raíces, donde se realizó el conteo de las estructuras de los HMA observando hifas y arbusculos lo que confirma el éxito de la inoculación, se estimó el porcentaje de colonización de cada tratamiento (Figura 74 y 75).

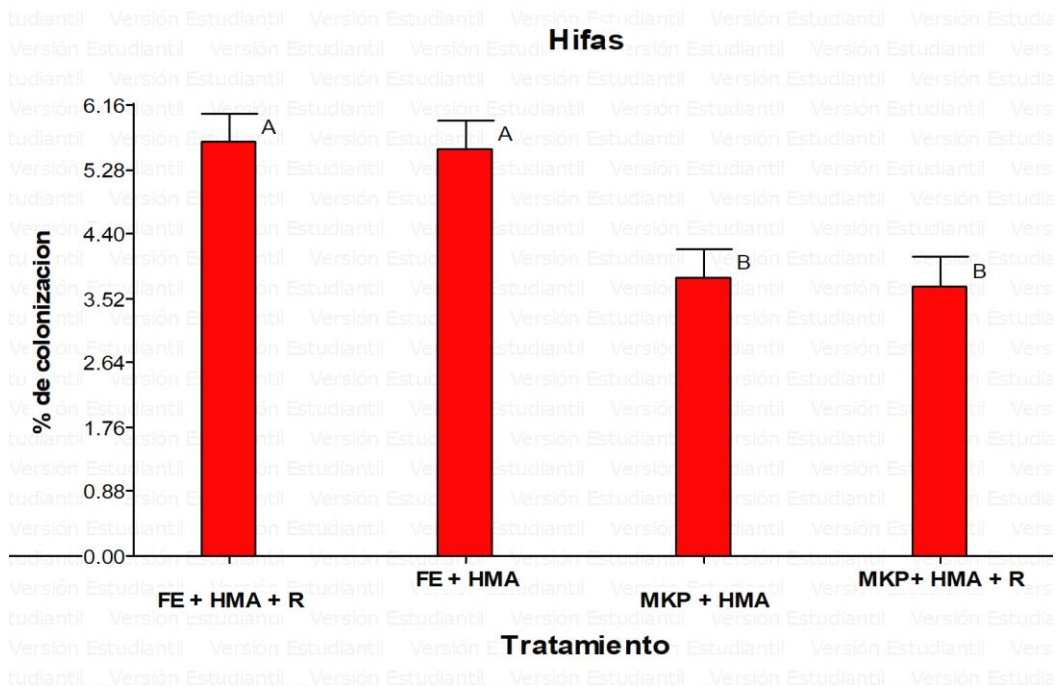


Figura 74. Grafica del porcentaje de colonización micorrícica por cada tratamiento de hifas.

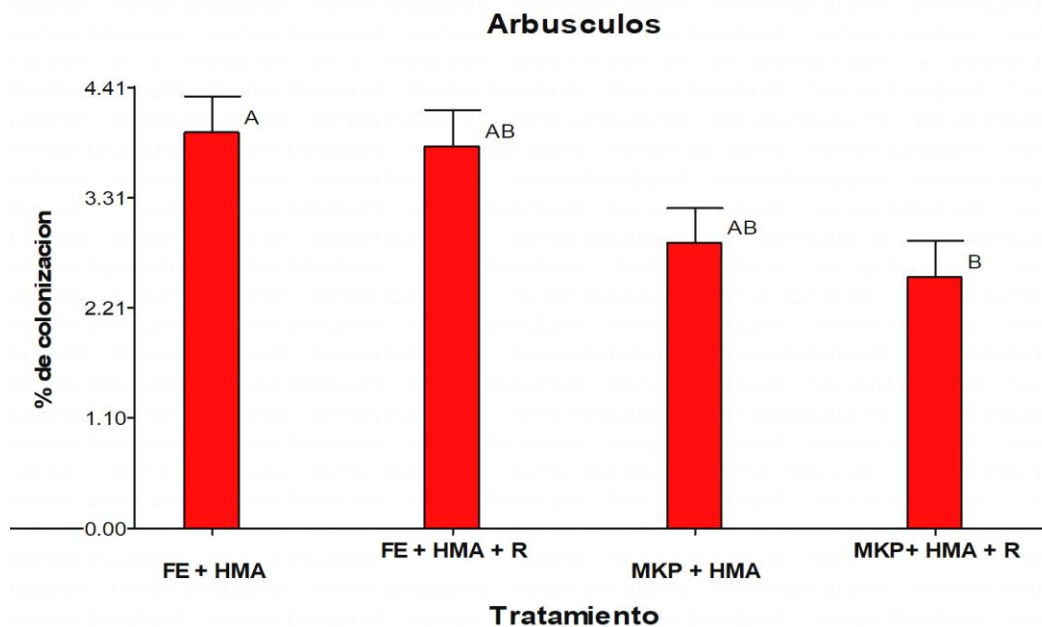


Figura 75. Grafica del porcentaje de colonización micorrícica antirradical por cada tratamiento de arbusculos.

La colonización por hifas y arbusculos fue significativamente mayor en los tratamientos con fertilizante encapsulado (FE), y en el tratamiento con la rizobacteria promotora del crecimiento, estos tratamientos muestran mayor porcentaje de colonización.

V.1.3 Confirmación de la rizobacteria en la planta

Para la confirmación de rizobacteria promotora del crecimiento *Enterobacter* sp. DBA51 en la planta se obtuvo un extracto de la raíz macerada para su crecimiento en cajas Petri con medio DF-ACC, este medio permitió la detección de la actividad de la ACC desaminasa. El crecimiento bacteriano en el medio DF-ACC se tomó como un indicador para confirmar la presencia de la rizobacteria en las raíces de las plantas y además se mandó a secuenciar el gen 16S rDNA, del resultado de las secuencias obtenidas se compararon con las bases de datos de secuencias de referencia utilizando la herramienta BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) del NCBI, confirmando la identidad de las bacterias aisladas.

El resultado fue el comparativo más alto correspondiente a *Enterobacter cloacae*, con un porcentaje de identidad de 94.06 %, indicando que la rizobacteria DBA51 estaba asociada a las plantas del bioensayo de promoción del crecimiento

V.2 Bioensayo de patogenicidad

V.2.1 Resultados de la simbiosis de HMA con las raíces

Se realizó la técnica de tinción de raíces donde se volvió a confirmar la presencia de hifas y arbusculos por medio de observación microscópica, las estructuras observadas indican una interacción simbiótica efectiva entre las raíces de las plantas y los HMA. Se presentan porcentajes de colonización de cada tratamiento en la figura 77 y 78.

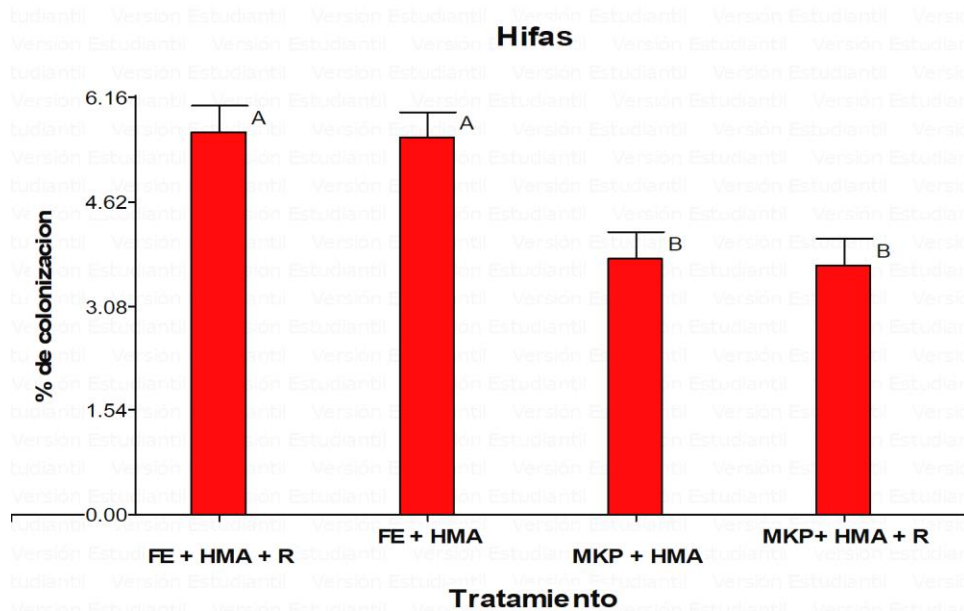


Figura 76. Gráficos del porcentaje de colonización micorrícica intrarradical de hifas en raíces de plantas del segundo bioensayo en invernadero.

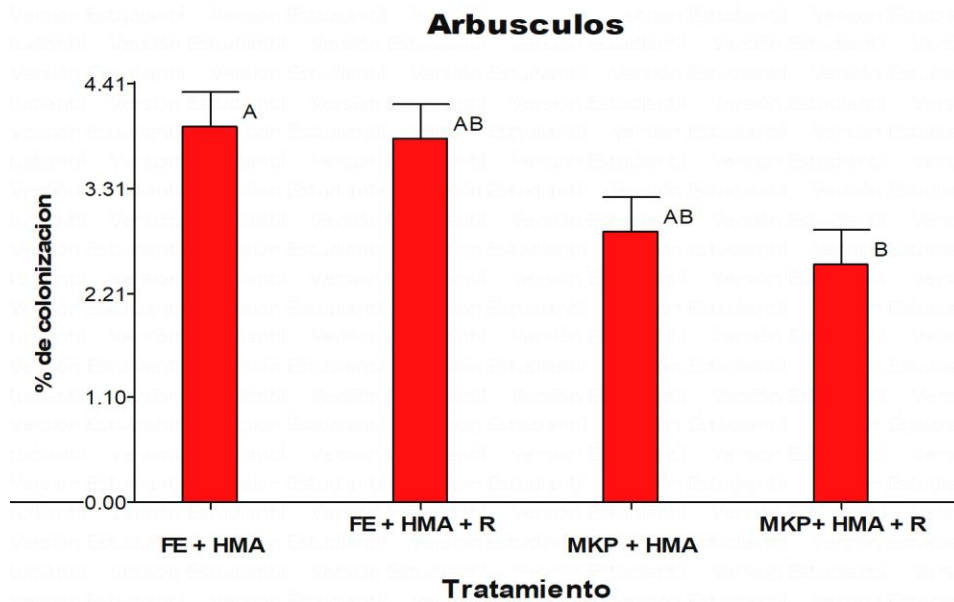


Figura 77. Gráficos del porcentaje de colonización micorrícica de arbusculos en raíces de plantas del segundo bioensayo en invernadero.

Los tratamientos del fertilizante encapsulado en combinación con los HMA vuelven a presentar mayor porcentaje de colonización en comparación a los tratamientos del fertilizante comercial MKP.

V.2.2 Confirmación de la rizobacteria en la planta

La confirmación de la presencia de la rizobacteria promotora del crecimiento en las raíces, se comprobó mediante el crecimiento en medio PVK que contiene fosfato tricálcico, una característica de las rizobacterias es que solubiliza el fósforo, lo cual se notó en el crecimiento y formación de halos claros alrededor de las colonias bacterianas, estos halos son indicativos de la solubilización del fosfato tricálcico. Se presentan imágenes del crecimiento y presencia del halo (Figura 79).

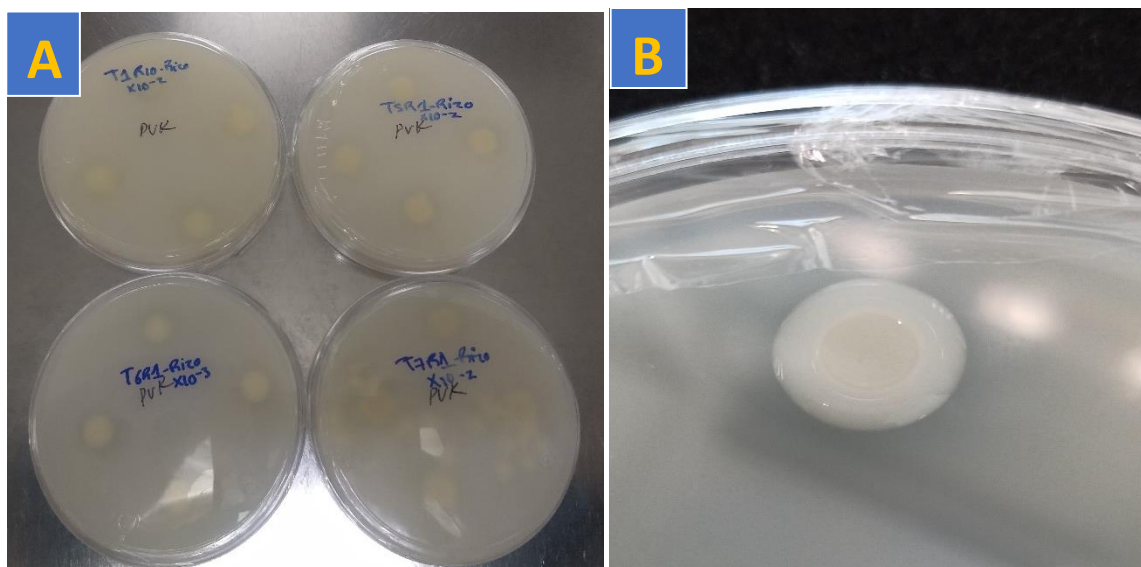


Figura 78. Crecimiento en medio PVK, A) Cajas con tratamientos y B) Presencia del halo formado por la solubilización de fósforo por *Enterobacter* sp. DBA51.

V.2.3 Resultados de procesamiento de imágenes

Con la captura de imágenes al presentar síntomas después de la infección, se realizó la segmentación de imágenes para obtener el porcentaje de infección presentado en cada una de las hojas infectadas por cada planta en los diferentes tratamientos, se identificó y cuantifico el área enferma y área sana y se obtuvo un porcentaje de cada área, se presentan gráficos de área sana y enferma en la figura 80, resultado de la segmentación de imágenes, donde se muestra similitud en todos los tratamientos del área sana, tratamientos con los microorganismos benéficos muestran la misma similitud demostrando que todos los tratamientos son efectivos en mantener la salud en la planta.

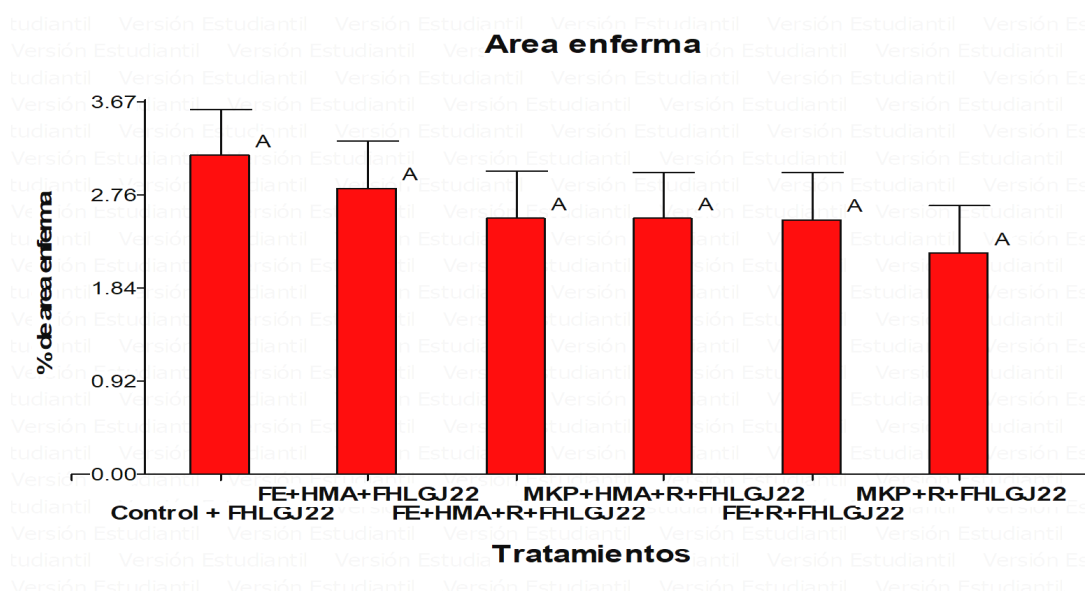


Figura 79. Diferencias de medias de datos de área enferma, $n = 10$.

V.2.4 Expresión de genes de defensa por RT-PCR semicuantitativo

Para evaluar la respuesta defensiva de la planta hacia el patógeno *P. cacticidum* FHLGJ22, se realizaron análisis moleculares de expresión génica por medio de la RT-PCR semicuantitativa. Por electroforesis en gel de agarosa se comprueba la expresión de los genes que son inducidos por los diferentes tratamientos en las plantas del bioensayo. Se visualizan los fragmentos en el gel de agarosa, se notó la presencia y se corroboró el tamaño del fragmento amplificado que corresponde a cada gen. Los tratamientos con tres repeticiones que se usaron en el gel y cada repetición corresponden a un pool de plantas:

- T1-** Control
- T2-** Control + FHLGJ22
- T3-** MKP + DBA51 + FHLGJ22
- T4-** MKP + HMA
- T5-** MKP + HMA + DBA51 + FHLGJ22
- T6-** FE + HMA + DBA51 + FHLGJ22

- T7-** FE + DBA51 + FHLGJ22
- T8-** FE + HMA + FHLGJ22

A continuación, en las figuras 81 y 82, se ilustra las imágenes de la primera ronda de los geles de agarosa que se realizó, donde se corrieron los fragmentos de cada uno de los genes amplificados por PCRs para todas las muestras. El primer gen que se confirmó fue EIF1 α que está involucrado en la regulación de la traducción selectiva y en la respuesta a señales ambientales en plantas, es un gen con expresión constitutiva y se empleó como control de carga del ADNc obtenido de cada muestra. Posterior de obtener una amplificación del gen control (EIF1 α) homogénea en las tres repeticiones se realizaron los PCR para amplificar el resto de los genes involucrados en defensa (AOC, ACCO, ERP1, PR1, PtoR1, y SOD). El gen AOC codifica una enzima que participa en la biosíntesis de jasmonatos, compuestos orgánicos que interactúan en respuestas a situaciones de estrés biótico y abiótico. El gen PR1 codifica una proteína que se expresa en la respuesta a la infección por patógenos, esta se considera como un marcador de respuesta de defensa sistémica en las plantas y es dependiente del ácido salicílico. El gen ACCO codifica para la enzima ACC oxidasa, conocida como etileno sintasa que participa en la biosíntesis del etileno, fitohormona involucrada en la respuesta a condiciones ambientales y de estrés.

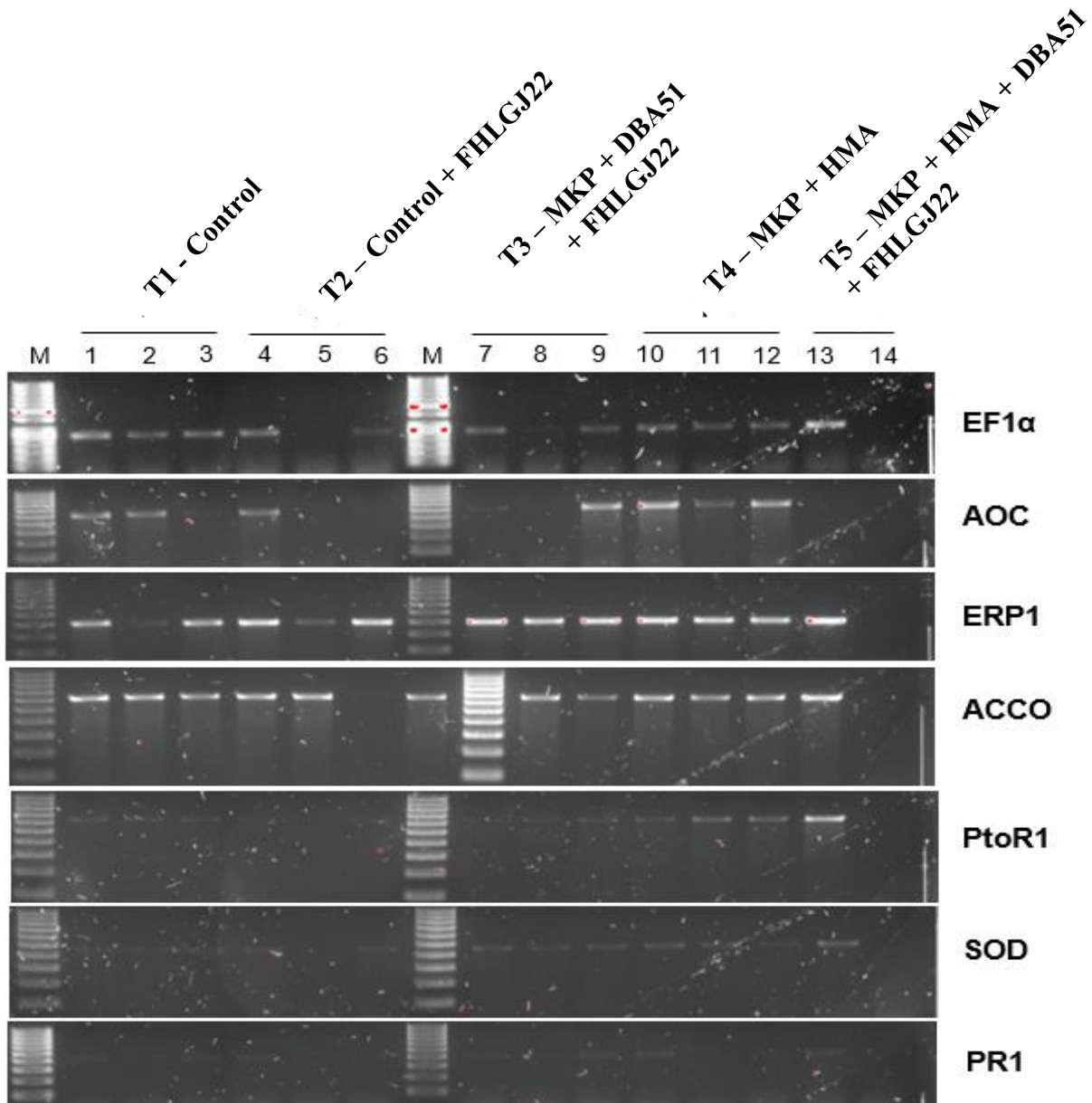


Figura 80. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T1 al T5 con tres réplicas. Los genes evaluados: EIF1 α (Factor de elongación 1 α , control constitutivo), AOC (aleno óxido ciclasa), ERP1 (proteína de respuesta a etileno), ACCO (aminociclopropano carboxilato oxidasa), PtoR1 (proteína de respuesta a patógeno), SOD (superóxido dismutasa) y PR1 (proteína relacionada a patogénesis). M, marcador de tamaño molecular 100 pares de bases y separados en geles de agarosa al 2%.

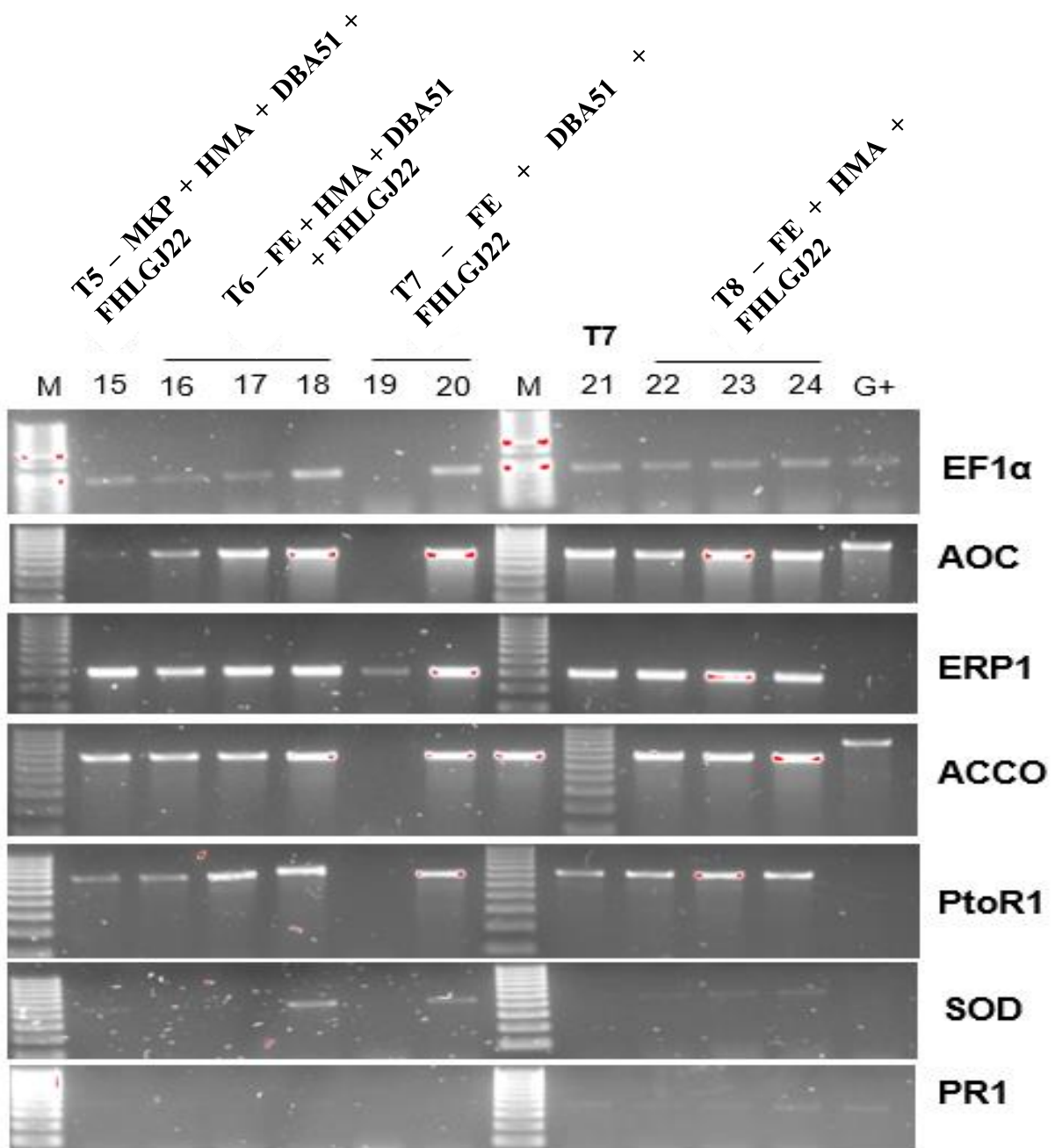


Figura 81. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T5 al T8 con tres réplicas. Análisis de expresión génica por RT-PCR semicuantitativo para los tratamientos T5 al T8 con tres réplicas. Los genes evaluados: EIF1α (Factor de elongación 1α, control constitutivo), AOC (aleno óxido ciclasa), ERP1 (proteína de respuesta a etileno), ACCO (aminociclopropano carboxilato oxidasa), PtoR1 (proteína de respuesta a patógeno), SOD (superóxido dismutasa) y PR1 (proteína relacionada a patogénesis). M, marcador de

tamaño molecular 100 pares de bases, G+, ADN genómico de plantas de tomate como control externo separados en geles de agarosa al 2%.

Partiendo de las imágenes anteriores, se procedió a realizar una cuantificación de los pixeles correspondientes a cada banda detectada por cada gen y muestra para estimar la expresión relativa de cada gen. La expresión relativa de cada uno de estos genes es semicuantitativo, correspondiente a la primera corrida de tres de PCR para todas las muestras, es necesario realizar dos más para poder definir el patrón de expresión de los genes evaluados, los datos obtenidos fueron graficados para cada uno de los genes.

V.2.4.I Gen AOC (Aleno oxido ciclasa)

El resultado de la expresión del gen AOC en la figura 83 muestra que los tratamientos T4, T5, T6, T7 y T8 muestran valores de expresión relativa similares y significativamente altos al tratamiento T1 que es el gen constitutivo con el que se comparan todos los tratamientos, los tratamientos de mayor expresión son los de fertilizante micro-encapsulado MKP y MKP comercial en combinación con los microorganismos benéficos, a excepción de tratamiento T7 que es solo fertilizante micro-encapsulado MKP, este gen se involucró en la síntesis del ácido jasmónico que participa en señalización y defensa contra el patógeno.

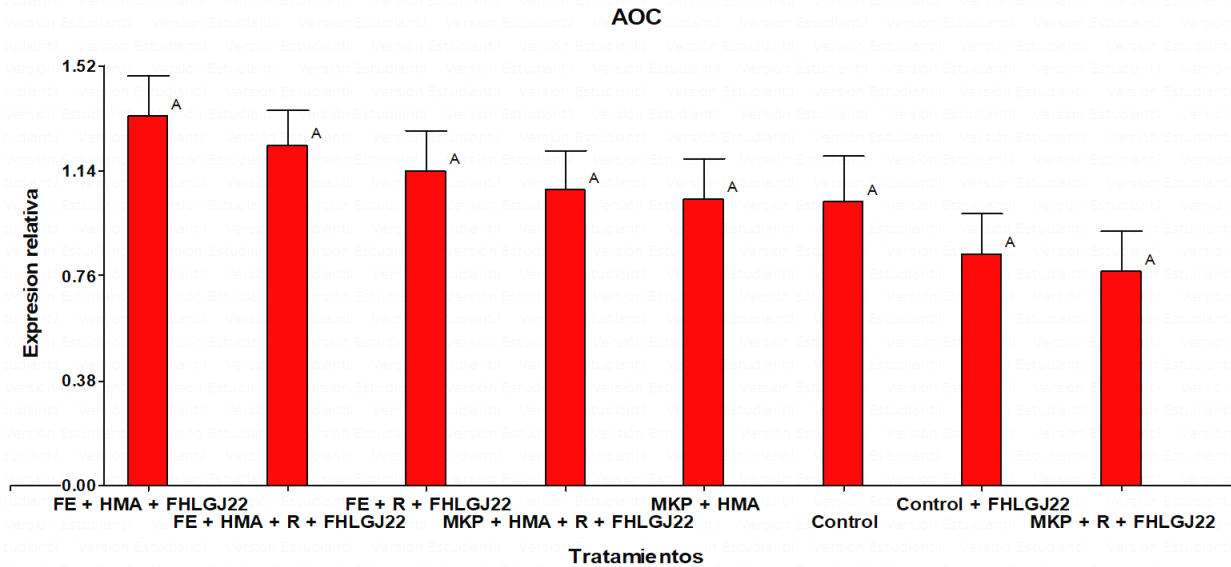


Figura 82. Expresión relativa del gen que codifica para Aleno óxido ciclasa (AOC) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V.2.4.2 Gen PR1 (Proteína relacionada a patogénesis)

Se muestra el gráfico de los resultados de la expresión relativa del gen PR1 en la figura 84, donde las diferencias no están tan alejadas de cada uno de los tratamientos, el tratamiento T7 es quien muestra el valor significativo más alto, los tratamientos T2, T3 y T6 muestran una tendencia similar en sus valores, debajo de estos se encuentran los tratamientos T1, T5 y T8 que también similitud en su valor expresado y con menor valor está el T4. La expresión de este gen codifica una proteína relacionada a la patogénesis en las plantas, por lo que su expresión se indujo en respuesta a los síntomas de la infección relacionado al patógeno.

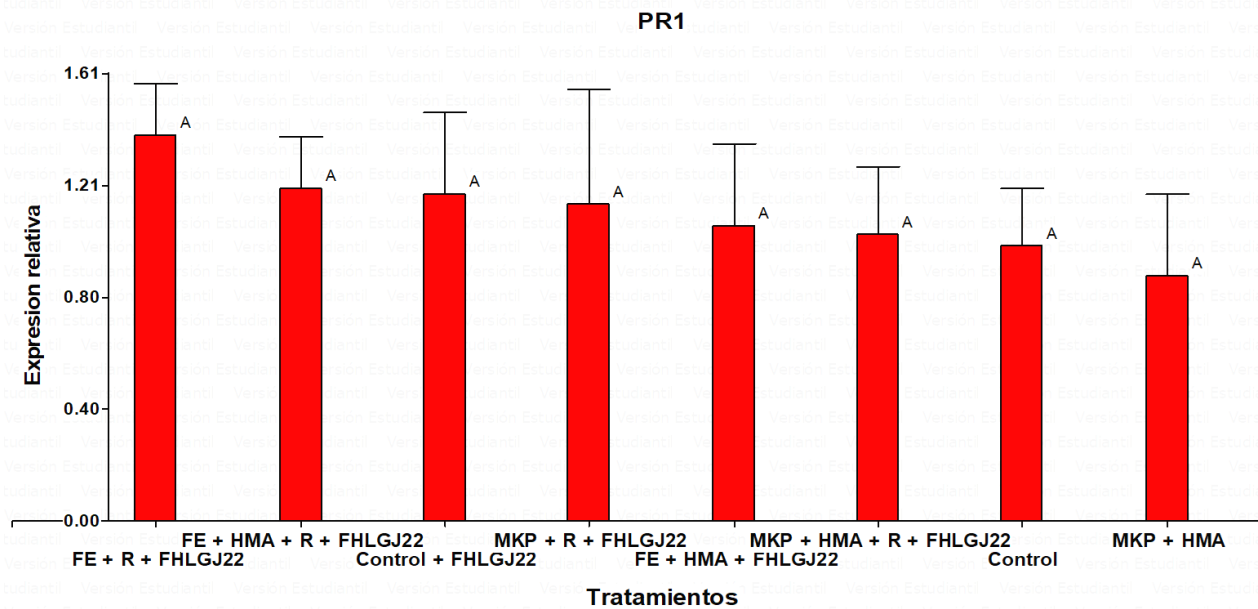


Figura 83. Expresión relativa del gen que codifica para proteína relacionada a patogénesis 1 (PR1) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V.2.4.3 Gen ERP1 (Proteína de respuesta al etileno)

En la Figura 85 se muestra el resultado de la expresión relativa del gen ERPI1, los cuales se comparan con el T1 que es el control, se observa que el T4 es el tratamiento con el valor significativo más alto, seguido de los tratamientos T3, T5 y T6 que muestran valores similares con el tratamiento de comparación y con los valores más bajos están los tratamientos T2, T7 y T8.

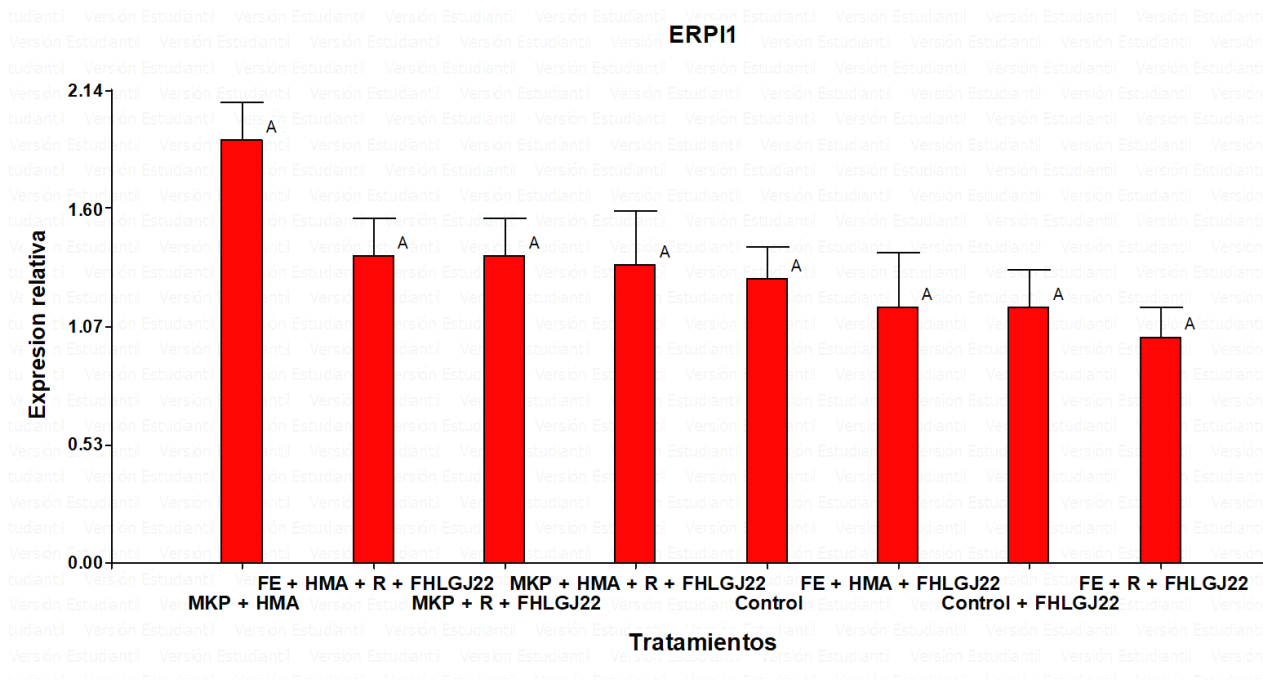


Figura 84. Expresión relativa del gen que codifica para la proteína de respuesta a etileno 1 (ERP1) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V.2.4.4 Gen ACCO (Aminociclopropano carboxilato oxidasa)

Se presenta el grafico del resultado en la Figura 86 de la expresión del gen ACCO, donde se observa que el tratamiento T3 es el más alto significativamente, siguiéndole el T6 y T8 con valores similares, por debajo de estos están los tratamientos T2, T5 y T7, los tratamientos T1 y T4 no presentaron valores de expresión debido a que no llevan microorganismos benéficos. La expresión de este gen es inducida por señales de estrés y daño mecánico, a la vez que codifica una enzima involucrada en la biosíntesis del etileno.

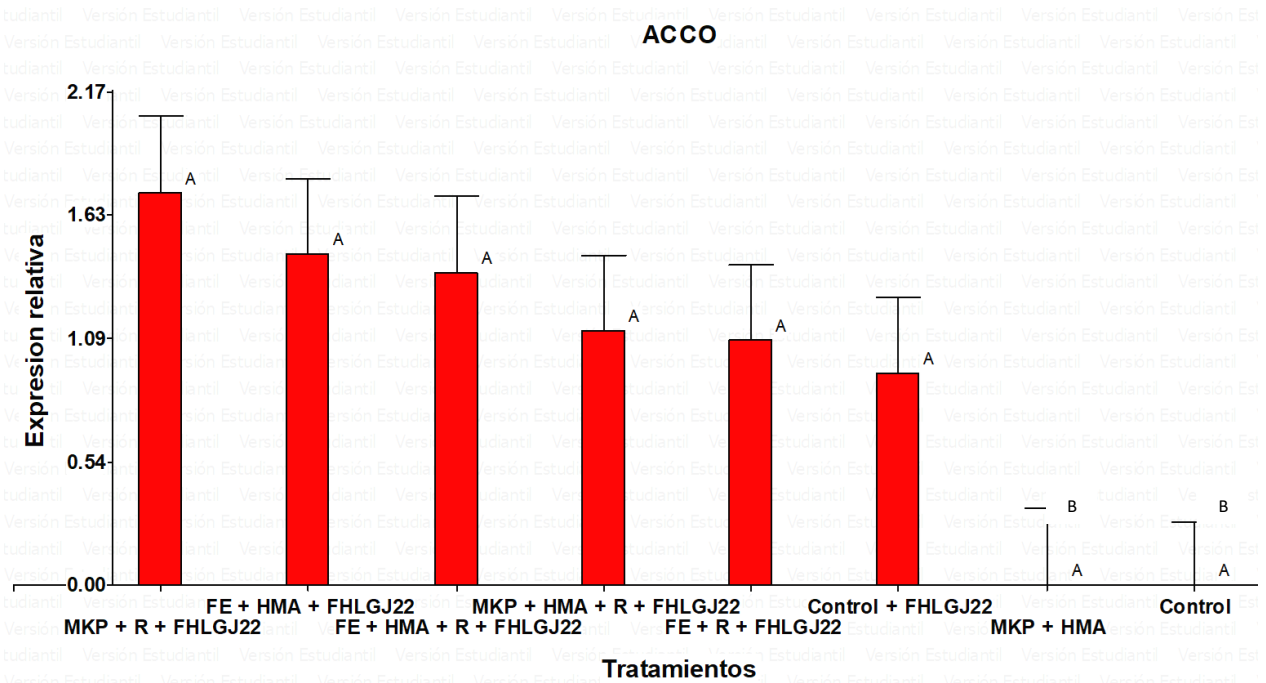


Figura 85. Expresión relativa del gen que codifica para la enzima aminociclopropano carboxilato oxidasa (ACCO) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V.2.4.4 Gen PtoR1 (Proteína de respuesta a patógenos)

En esta grafica de la Figura 87 se presentan los valores de expresión relativa del gen PtoR1, se observa que el tratamiento T3 es quien tiene el valor más alto significativamente seguido del T8, los demás tratamientos están por debajo mostrando la misma tendencia todos.

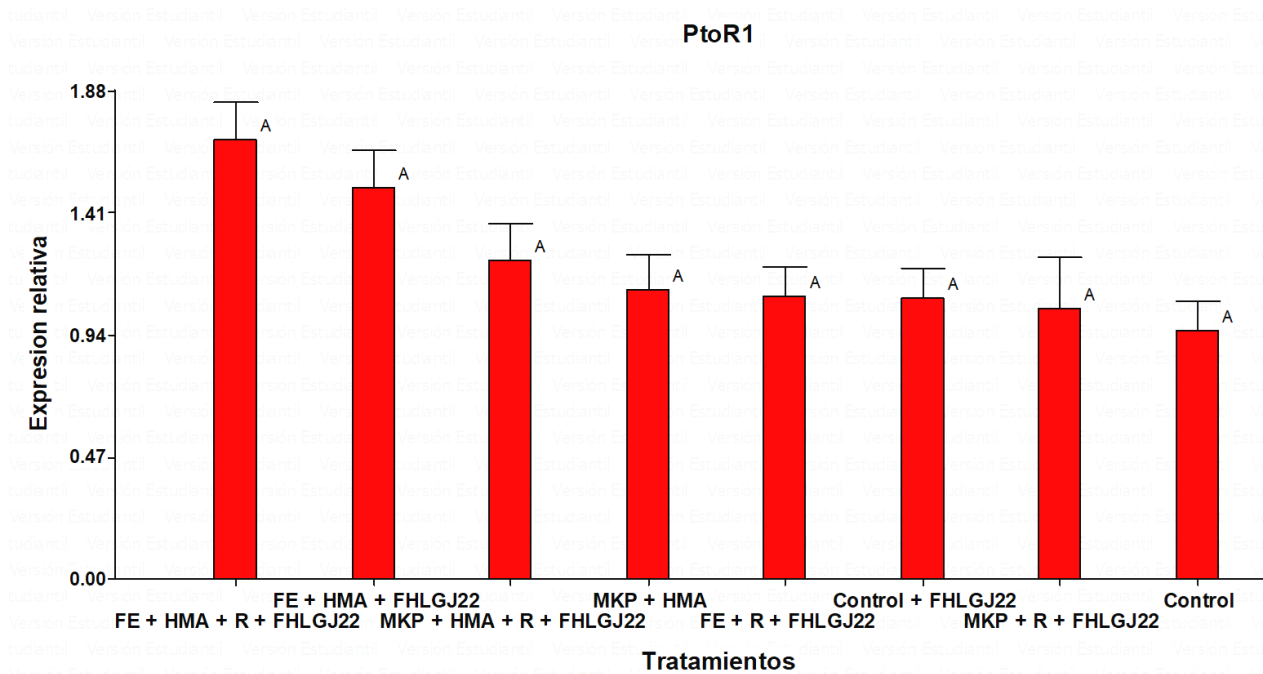


Figura 86. Expresión relativa del gen que codifica para Proteína de respuesta a *Pseudomonas syringae* pv. tomato R1 (PtoR1) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V.2.4.4 Gen SOD (Superóxido dismutasa)

Los resultados de la expresión relativa del gen SOD muestran en la Figura 88. Los tratamientos T2, T3 y T6 por arriba del tratamiento T1 que es con el que se comparan, los demás tratamientos muestran valores similares entre ellos manteniendo la misma tendencia con el T1 mostrando expresión relativa del gen SOD para todos los tratamientos activando la defensa antioxidante protegiendo las células vegetales contra el estrés.

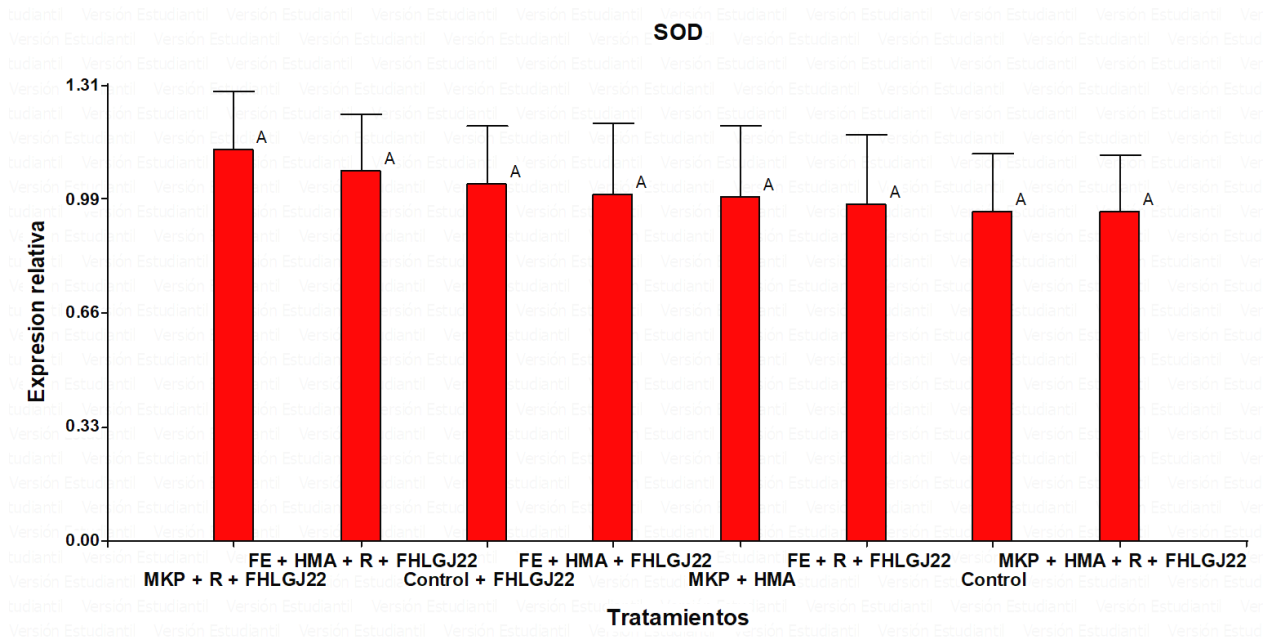


Figura 87. Expresión relativa del gen que codifica para la enzima Superóxido dismutasa (SOD) mediante RT-PCR semicuantitativo.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se realizaron dos bioensayos empleando un fertilizante microencapsulado de MKP y sus efectos con microorganismos benéficos en plantas de tomate, se co-inocularon con un aislado nativo de hongos micorrícicos arbusculares y con la rizobacteria *Enterobacter* sp. DBA51, que mostraron un impacto significativo en la mejora de absorción de nutrientes y promoción el crecimiento de la planta, resultados que se muestran en las figuras 8 y 17 sobre las diferentes combinación de los tratamientos y los efectos que causaron en altura de la planta y diámetro del tallo. Los HMA forman asociaciones simbióticas con las raíces donde colonizan y forman estructuras donde intercambia nutrientes principalmente el fósforo a cambio de azúcares por parte de la planta, que son resultados del porcentaje de colonización micorrícica presentados en las figuras 77 y 78, estos resultados coinciden con el trabajo de Smith y Read (2008), donde explicaron que los HMA aumentan la superficie efectiva de absorción radicular mediante la formación de una red extensa de hifas en el suelo, facilitando así una mayor captación de nutrientes. La extensión de la zona radicular permite a las plantas acceder a nutrientes esenciales que tienen poca movilidad en el suelo que de otro modo estarían fuera de su alcance, Rodríguez et al. (2008) y Ahanger et al. (2014) señalaron que la expansión del área de absorción radicular mediante HMA resulta en una mejor nutrición de las plantas, lo cual es fundamental para su crecimiento y desarrollo. La mejora en la absorción de nutrientes se reflejó en un crecimiento y desarrollo más vigoroso mostrando un aumento en la altura del 6 % en comparación al tratamiento control y 10 % de diámetro del tallo en las plantas de tomate figuras 8 y 17, en comparación con las plantas no inoculadas, estos resultados confirman que la simbiosis de los HMA no solo mejora la nutrición de las plantas, sino que también promueve el desarrollo vegetativo, esto coincide con los reportado por Colla et al. (2015), este estudio subraya que las micorrizas no solo mejoran la absorción de nutrientes, sino que también promueven un crecimiento vegetativo más vigoroso y un rendimiento de frutos superior. La mejora en la absorción de nutrientes contribuye a una mayor resistencia en las plantas a diversos factores como el estrés hídrico, salino y patógenos del suelo, los autores Rodríguez et al. (2008) y Ahanger et al. (2014) documentaron que las plantas inoculadas con micorrizas muestran una mayor resistencia a factores de estrés ambiental, lo cual es crucial para la sostenibilidad y estabilidad de los

sistemas agrícolas. El uso de los HMA tiene implicaciones significativas para la agricultura sostenible ya que al mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes reduce la dependencia de fertilizantes químicos, disminuyendo así el impacto ambiental negativo asociado con su uso excesivo, de acuerdo al autor Salam et al. (2017) reporta que las prácticas agrícolas que incorporan HMA no solo mejoran la productividad de los cultivos, sino que también promueven la salud del suelo y la biodiversidad. Esto es esencial para desarrollar sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles.

El otro microorganismo evaluado en esta investigación fue la rizobacteria promotora del crecimiento vegetal, que son bacterias benéficas que habitan en la rizosfera (la región del suelo inmediatamente adyacente a las raíces). Estas rizobacterias han mostrado su capacidad para promover el crecimiento vegetal y fortalecer las defensas de las plantas mediante varios mecanismos. La inoculación con la PGPR *Enterobacter* sp DBA51 beneficio en el crecimiento, observando resultados en la altura de 6 % y 10 % diámetro del tallo en comparación con el tratamiento control, esto también se reportó con Ortega-Ortega et al. (2024) donde documentaron que las rizobacterias promotoras del crecimiento, como *Enterobacter* sp. DBA51, pueden estimular el crecimiento vegetal a través de diversos mecanismos, incluyendo la producción de fitohormonas y la mejora de la estructura del suelo. Además de favorecer el crecimiento, también mejoro el proceso de nutrición en las plantas de tomate, la rizobacteria tiene la capacidad de solubilizar fosfatos como se muestra en la figura 79 presencia de halo por la solubilización del fósforo, lo que aumenta su disponibilidad de este nutriente esencial, en el artículo de Gómez et al. (2012) señalaron que las rizobacterias promotoras del crecimiento mejoran la absorción de nutrientes por las plantas al aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y facilitar su transporte a través del sistema radicular. La inoculación con PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 no solo ha demostrado favorecer el crecimiento y la nutrición de las plantas, sino también la activación de mecanismo de defensa en la planta, lo que aumenta su capacidad para resistir infecciones por patógenos (Delano-Frier, et al., 2024), esto es consistente con los estudios de Nascimento et al. (2018) y Verbon & Liberman (2016), quienes también han documentado la capacidad de los microorganismos benéficos para mejorar la resistencia de las plantas a patógenos. El efecto de la PGPR *Enterobacter* sp. DBA51 no solo favoreció en el desarrollo vegetativo, sino que también permitió activación de mecanismos de defensa contra patógenos necrotróficos, los autores

Verbon & Liberman (2016) señalaron que las fitohormonas producidas por microorganismos benéficos pueden activar rutas de señalización en las plantas que mejoran su resistencia a infecciones.

El tratamiento con el fertilizante micro-encapsulado en combinación con la inoculación de los microorganismos benéficos mejoraron la salud nutricional en las plantas de tomate. Los dos tipos de fertilizantes evaluados (FE y MKP convencional) exploró posibles sinergias potenciales entre microorganismos beneficiosos y tecnologías de fertilización avanzada para mejorar el crecimiento de las plantas y su resistencia a patógenos. En este sentido, los diferentes tratamientos que involucro al FE presentaron incrementos en los parámetros biométricos presentados en las figuras 8 y 17 resultados de altura y diámetro del tallo, esto fue correlacionado con valores de % de fósforo del tejido foliar que se presentan en la figura 65 el resultado de la cuantificación de fósforo, esto nos indica que el FE en presencia de los microorganismos benéficos permite mayor asimilación del fósforo. El uso de fertilizantes encapsulados que están diseñados para liberar nutrientes de manera controlada y gradual, lo que, por pérdidas por lixiviación y volatilización, en lo reportado por Hassanien y Mahdy (2021) destacaron que el uso de fertilizantes encapsulados en plantas de tomate redujo significativamente las pérdidas de nitrógeno, un nutriente clave para el desarrollo vegetal. Este hallazgo sugiere que los fertilizantes encapsulados pueden proporcionar una solución eficaz para minimizar el desperdicio de nutrientes y mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes. los tratamientos con el micro-encapsulado MKP y el fertilizante comercial MKP en combinación con los microorganismos benéficos mostraron diferencia en cada tratamiento, resultando en la promoción de crecimiento en parámetros como diámetros del tallo y altura de la planta esto presentado en la Figura 8 y 17, esto concuerda con el estudio de Hassanien y Mahdy (2021) mostró que las plantas de tomate tratadas con fertilizantes encapsulados presentaron un crecimiento más robusto en comparación con las tratadas con fertilizantes tradicionales. Aunque no en todas las mediciones biométricas y fisiológicas se obtuvieron los valores más altos, solo algunos tratamientos eran altos en altura de la planta y diámetro del tallo, para los resultados de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración, los tratamientos con estaban combinados con los microorganismos benéficos se obtuvieron resultados bajos a en comparación a los tratamientos de fertilizantes, esto se debe al gasto de fotosintatos el cual la planta destina para mantener y alimentar a los microorganismos benéficos, ya que sabe que ellos le dan un

beneficio, esta simbiosis mutualista le causa un costo energético al disminuir fotosintatos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta, esto concuerda con lo reportado por (Smith 2008) donde la simbiosis entre las plantas de tomate y microorganismos del suelo conlleva a un intercambio mutuo de nutrientes, donde las plantas suministran fotosintatos (azúcares y otros compuestos derivados de la fotosíntesis) a las micorrizas y rizobacterias a cambio de nutrientes esenciales como el fósforo, nitrógeno y micronutrientes. Estos estudios han demostrado que las plantas de tomate destinan hasta un 20% de sus fotosintatos a las micorrizas arbusculares en condiciones normales de crecimiento, este gasto es justificado por la mejora en la adquisición de fósforo y la promoción del crecimiento, lo que lleva a un aumento neto en la productividad de la planta.

En los dos bioensayos realizados se observó que las plantas tratadas con fertilizantes encapsulados mostraron un crecimiento más vigoroso en parámetros como altura de la planta y diámetro del tallo en comparación con aquellas tratadas con el fertilizante comercial MKP, estos resultados se alinean con los resultados reportados por Smith et al. (2019), quienes también encontraron que los fertilizantes encapsulados promovían un mayor crecimiento vegetativo en comparación con los fertilizantes tradicionales. Específicamente, las plantas tratadas con FE presentaron una mayor altura, un mayor diámetro del tallo y una mayor biomasa foliar. En el fertilizante micro-encapsulado MKP el nutriente a evaluar fue el fósforo que interviene el procesos de desarrollo de las raíces y el crecimiento general de las plantas, lo cual estuvo más disponible por la característica de lenta liberación y al realizar las mediciones biométricas y fisiológicas en este estudio indican que las plantas con fertilizante encapsulado tuvieron una mejor absorción de nutrientes, probablemente debido a la disponibilidad prolongada de fósforo, en el artículo de García et al. (2020) respaldan esta observación, destacando que los fertilizantes de liberación lenta mejoran significativamente la absorción de fósforo, lo cual es crucial para el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas.

La inoculación con hongos micorrícicos arbusculares HMA no solo mejoró la salud nutricional de las plantas de tomate, sino que también activó mecanismos de defensa asociados con la resistencia inducida por micorrizas (MIR), participando en la señalización de hormonas como el ácido jasmónico JA, el ácido salicílico SA y el etileno ET, que inducen

genes de resistencia como AOC, PR1, SOD, ACCO, ERPI1 y PtoR1, estos juegan roles cruciales en la resistencia inducida contra patógenos, estos resultados se alinean con estudios realizados por Pozo y Azcón-Aguilar (2007), quienes describieron cómo la colonización micorrícica puede activar respuestas defensivas en plantas, particularmente en respuesta a patógenos necrotróficos.

La mayoría de los HMA activan respuestas de defensa reguladas por JA y ET ante ataque de insectos y patógenos, donde el etileno participa mayormente en las rutas de señalización y la interacción planta patógeno, nuestros resultados se coincide con un trabajo reciente de los autores Javier Lidoy & María J. Pozo (2024) donde reportan que las plantas de tomate micorrizadas respondieron a una expresión inducida de genes relacionadas con el AJ expresando al gen ERF1 contra herbívoros masticadores y en tratamientos que no fueron inoculados no se presenta expresión, confirmaron que las micorrizas conducen a un estado de defensas preparadas reguladas por AJ durante la herbívoría.

Con la inoculación de la rizobacteria promotora del crecimiento *Enterobacter* sp. DBA51 se ha comprobado la inducción de la resistencia sistémica en respuesta al patógeno necrotrófico *P. cacticidum* que presento síntomas de clorosis en todos los tratamientos de las hojas de las plantas de tomate, el análisis de imágenes por segmentación realizado en este estudio permitió identificar y cuantificar las áreas sanas y enfermas afectadas por la clorosis, estos resultados son consistentes con lo reportado por Zhang et al., (2020), quienes también emplearon técnicas de segmentación de imágenes para evaluar la salud de las hojas de tomate, donde también diferenciaron entre áreas sanas y enfermas. Por la presencia del patógeno y el síntoma causado se activaron las rutas de señalización de ácido jasmónico (JA) y etileno (ET). Estos resultados son congruentes con los hallazgos de Van Wees et al. (2008), quienes también demostraron que la ISR inducida por rizobacterias está mediada principalmente a través de las vías de señalización de JA y ET, encontraron que la colonización de las raíces por rizobacterias resultó en la activación de genes de defensa relacionados con JA y ET, lo cual mejoró la resistencia de las plantas a patógenos necrotróficos. La activación de estas rutas de señalización es crucial para la respuesta de las plantas contra patógenos necrotróficos, ya que el ácido jasmónico y el etileno juegan roles fundamentales en la defensa contra estos patógenos. Además, nuestro estudio muestra que la inducción de ISR no solo

incrementa la resistencia local en el sitio de infección, sino que también proporciona una resistencia sistémica en partes no infectadas de la planta, esto ha sido documentado en trabajos de Pieterse et al. (2014), quienes describen cómo las señales derivadas de la interacción planta-rizobacteria pueden movilizarse a través del sistema vascular de la planta para inducir respuestas defensivas en tejidos distantes. La simbiosis de los HMA nativos con la rizobacteria *Enterobacter* sp DBA51 mejoro la resistencia contra el patógeno necrotrófico, lo que se reflejó en una reducción de la incidencia de enfermedades foliares, resultados similares han sido reportados por Zhang et al. (2021), quienes encontraron que la inoculación de con micorrizas y rizobacterias mejoró la resistencia de las plantas de tomate al patógeno *Fusarium oxysporum*, en su estudio la simbiosis con estos microorganismos activo la producción de compuestos fenólicos y la expresión de genes relacionados con la defensa, lo que contribuyó a una respuesta más rápida a la infección. En este sentido la expresión de genes juega un papel fundamental como herramienta para evaluar respuestas de las plantas a estímulos bióticos y abióticos, en el presente estudio, se confirmaron genes implicados en la defensa de las plantas, como AOC, PR1, SOD, ACCO, ERPI1 y PtoR1 estos están representados en las figuras 25 y 26 resultados de la expresión de genes en gel agarosa.

En respuesta a la infección del patógeno necrotrófo, estos genes no solo son marcadores clásicos de la activación del sistema de defensa, sino que también desempeñan roles específicos en la activación de respuestas inmunes (especies reactivas de oxígeno) y en la tolerancia al estrés.

La comprensión de cómo estos genes son modulados y coordinados bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo agronómico es crucial para mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades. Este análisis no solo profundiza en los mecanismos moleculares subyacentes a la resistencia sistémica inducida (ISR), sino que también abre nuevas perspectivas para el desarrollo de estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades en la agricultura moderna. Resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas que han explorado los mecanismos moleculares de la resistencia sistémica inducida (ISR) como lo reportado de Pieterse et al. (2014) donde han documentado cómo la colonización de raíces por microorganismos beneficiosos puede activar respuestas de defensa en toda la planta mediante la inducción de genes como PR1, resultados expresados en la figura 29 donde

se muestra la inducción de este gen en los diferentes tratamientos, que se induce después de la infección del patógeno, lo reportado por (Beatrice et al., 2017) describen que la familia de PR se han utilizado como genes marcadores de resistencia sistémica inducida en muchas especies de plantas, además de ser candidatos para la activación del sistema inmune de las plantas. Por otro lado, el gen SOD que se muestra en la figura 33 la expresión de los diferentes tratamientos, que protege las células del estrés, es expresado en la primera línea de defensa contra las especies reactivas de oxígeno (ROS), reportes por (Asada, 2006). La extensión del estrés oxidativo en una célula se determina por la cantidad de superóxido, H_2O_2 y radicales hidroxilos, por lo que es importante el balance de las actividades de SOD, AP y CAT es para suprimir los niveles tóxicos de ERO en las células. Otro gen dependiente del etileno es ERPI1, que está implicado en las respuestas defensivas de las plantas, particularmente en la vía de señalización del etileno que aumenta significativamente cuando las plantas están bajo ataque de patógenos, especialmente aquellos que causan daño a los tejidos, lo reportado por (Broekaert et al., 2006) menciona que este gen codifica para una proteína en respuesta a etileno (río abajo), y esta relacionada con otras vías de defensa mediadas por el AS y el AJ (Broekaert et al., 2006).

Estudios como el de Van Wees et al. (2008) han demostrado que la señalización del ácido jasmónico y el etileno, implicados en la activación de genes como AOC que se muestra en la figura 28 su expresión en los diferentes tratamientos, por estrés biótico y la infección del patógeno, aumenta la producción de ácido jasmónico, que a su vez activa una serie de respuestas defensivas en la planta, esto confirma datos obtenidos de la resistencia sistémica inducida que activo la ruta del ácido jasmónico que actúa como una señal al desencadenar la expresión de genes de defensa, incluyendo aquellos que codifican proteínas antimicrobianas y enzimas degradadoras de las paredes celulares de los patógenos, estos resultados concuerdan con lo reportado por Wasternack y Hause (2013), su trabajo reporta cómo la biosíntesis de ácido jasmónico y su señalización son cruciales en la respuesta de las plantas a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico. Dentro de la misma ruta que se activa participa la hormona del etileno que participa en las vías de señalización de genes de defensa y la producción de compuestos antimicrobianos, también tiene un papel importante en la regulación de la respuesta hipersensible (HR), que es la muerte celular programada en el sitio de infección para limitar la propagación del patógeno, esta hormona es regulada por el gen

ACCO su expresión relativa se muestra en la figura 31, que participa en su biosíntesis, la inducción de este gen resulta en un incremento en la producción de etileno, que desempeña varias funciones defensivas, un estudio que explora el papel del etileno en la respuesta de las plantas a patógenos es el de Broekaert et al. (2006) este trabajo revisa cómo la biosíntesis y señalización del etileno están implicadas en las respuestas de defensa de las plantas.

La interpretación del patógeno con la planta y el elicitor de la RSI dieron como resultado la expresión del gen PtoR1 que está asociado con la resistencia de plantas a patógenos, especialmente en plantas de tomate que es lo que reportan en este trabajo de (Mysore et al., 2003) donde el gen (Pto), codifica la proteína quinasa de serina/treonina que induce resistencia en tomate contra cepas de *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, la expresión de este gen activa la defensa y resistencia contra distintos patógenos bacterianos y fúngicos Este gen codifica una proteína receptora de tipo quinasa, que juega un papel crucial en la defensa de las plantas contra patógenos, particularmente aquellos que son bacterianos, como *Pseudomonas syringae*.

La expresión coordinada de genes como ERPI1 y PtoR1 también sugiere la activación de respuestas específicas de resistencia, que pueden estar relacionadas con la percepción y la respuesta inmune de las plantas a patógenos necrotróficos. Esta respuesta coordinada de múltiples genes de defensa subraya la complejidad y la eficacia de la resistencia sistémica inducida como estrategia de protección de las plantas. En conjunto, estos resultados no solo amplían nuestro entendimiento sobre cómo los microorganismos beneficiosos pueden mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades, sino que también destacan el potencial de estas estrategias para mejorar la sostenibilidad agrícola al reducir la dependencia de pesticidas sintéticos. La aplicación práctica de la ISR basada en la inducción de genes de defensa podría ofrecer beneficios significativos en términos de manejo integrado de enfermedades y producción agrícola sostenible. Es necesario mencionar que hay limitados estudios en la literatura donde reportan las interacciones por la complejidad del pato sistema. Finalmente, el empleo de un fertilizante micro-encapsulado de MKP en combinación con los microorganismos benéficos pueden sugerirse como una alternativa viable para la agricultura sustentable en cuestiones de nutrición y protección vegetal.

VI. CONCLUSIONES

En el presente los resultados de la comparación del fertilizante micro-encapsulado MKP en comparación con un fertilizante comercial de MKP, los tratamientos en combinación con HMA nativo y PGPR *Enterobacter* sp. DBA51, indicaron que los tratamientos con el fertilizante micro-encapsulado MKP presentaron valores más altos de fósforo en área foliar en comparación con los tratamientos con el fertilizante comercial MKP. Debido a la sinergia entre la liberación controlada del nutriente que asegura un suministro continuo y la capacidad para movilizar y solubilizar el fósforo en el suelo por los microorganismos se asegura que siempre exista este intercambio con la planta. Para el caso del fertilizante comercial no hay tanta disponibilidad por la pérdida de lixiviación que reduce el fósforo disponible.

Los resultados obtenidos demuestran que la inoculación en las plantas de tomate con los hongos micorrícicos arbusculares y la rizobacteria mejora significativamente la asimilación del fósforo en los tratamientos del fertilizante micro-encapsulado MKP combinado con los microorganismos benéficos, la mejora de asimilación de nutrientes promovió el crecimiento más vigoroso teniendo como resultados un incremento en el diámetro del tallo y la altura de la planta.

Al mismo tiempo que se mejoró la salud nutricional, se activaron mecanismos de defensa inducidos por los microorganismos que expresaron genes de defensa en respuesta a la infección del patógeno, la inducción de los genes de resistencia en las diferentes combinaciones de tratamientos fue significativa, cada gen es conocido por su papel en las respuestas inmunes de las plantas y fueron específicos para distintos tipos de respuestas defensivas.

Estos resultados indican que los hongos micorrícicos arbusculares aislado nativo y la rizobacteria *Enterobacter* sp. DBA51, no solo promueven el crecimiento, sino que también preparan las defensas de las plantas contra infecciones futuras al activar vías de señalización de defensa específicas, estos hallazgos subrayan el potencial del uso de microorganismos

benéficos como una estrategia sostenible para mejorar la resistencia de las plantas a patógenos necrotróficos, reduciendo el uso de productos químicos y promoviendo prácticas agrícolas más ecológicas.

VII. REFERENCIAS

Agarwal, R., García, A., Elizalde, L. E., & López de Dicastillo, C. (2021). Micro/nanoencapsulation techniques using natural and synthetic polymers for the preservation of bioactive compounds in food systems: A review. *Food Hydrocolloids*, 113, 106523.

Ahnger, MA, Tyagi, SR, Wani, MR, Ahmad, P. (2014). “Tolerancia a la sequía; papel de los osmolitos organicos, los reguladores de crecimiento y los nutrientes minerales”, en *Mecanismos fisiológicos y estrategias de adaptación en plantas en un entorno cambiante*, vol. 1. Editores. Ahmad, P., Wani, MR (Nueva York, Nueva York: Springer), 25-55

Ali S, Danafar, Z. Controlled Release Fertilizers: Advances and Challenges. *Life Science Journal*. 12:11 (2015) 33-45.

Armada, E.; Portela, G.; Roldán, A. and Azcón, R. 2014. Combined use of beneficial soil microorganism and agrowaste residue to cope with plant water limitation under semiarid conditions. *Geoderma*. 232:640-648.

Armengaud, P., R. Sulpice, A. Miller, M. Stitt, A. Amtmann e Y. Gibon. 2009. Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in *Arabidopsis* roots. *Plant Physiol*. 150(2), 772-785.

Augé, R. M., Toler, H. D., & Saxton, A. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 6, 562.

Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrícicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1).

Beneduzi A, Ambrosini A, Passaglia LMP. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*. 2012;35(4 Suppl):1044-1051.

Jankiewicz U, Koltonowicz M. The involvement of *Pseudomonas* bacteria in Induced

Systemic Resistance in Plants (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2012;48(39):244-249.

Bolan, N. S. & L. K. Abbott (1983). "Seasonal Variation in Infectivity of Vesicular Arbuscular Micorrhizal Fungi in Relation to Plant Response to Applied Phosphorus", *Aust. J. of Soil Res.* 21.

Bonfante, P., & Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*, 1(1), 1-11

Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, D. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur y M. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. *Sci. Hortic.* 123, 336-342. Doi: 10.1016/j.scienta.2009.09.023.

Cabezas, Marco, & Sánchez, C. A. (2008). Effect of nutrient elements deficiencies on the dry matter partitioning in nursery plants of curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 197–204.

Cerón, L. E., & Aristizábal, F. A. (2012). Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV(1), 285–295.

Charkowski, A. O. (2018). The changing face of bacterial soft-rot diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 269-288.

Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 613, 829-839.

Choudhary, D. K., Prakash, A., & Johri, B. N. (2007). Induced systemic resistance (ISR) in plants: Mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, 47(4), 289–297.

Compant, S., Samad, A., Faist, H., Sessitsch, A., & Yousaf, S. (2019). Editorial: Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Frontiers in Microbiology*, 10, 147

Copetta, A.; Bardi, L., Bertolone, E., Berta, G. 2011. Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Biosyst.* 145(1):106-115.

Coutinho, E. L., Orioli, J. V., Silva, E. J. da, Coutinho, N. A., y Cardoso, S. S. (2014). Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *Agrociencia -Sitio En Reparación*, 18(2), 40–46.

Delgado, C., Olías, R., Jiménez, J. C., y Clemente, A. (2016). Aspectos de las legumbres nutricionales y beneficiosos para la salud humana. *Arbor*, 192(779), a313.

Derksen H, Rampitschb C, Daayf F. Signaling cross-talk in plant disease resistance. *Plant Science.* 2013;207:79-87.

Desender, S., Andrivon, D., Val, F. 2007. Activation of defence reactions in Solanaceae: where is the specificity. *Cellular Microbiology* 9: 21-30.

Divito, G. & V. Sadras. 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Res.* 156, 161-171.

Espinoza, J. (2009). Fertilizantes en Chile: Coyuntura y perspectivas. ODEPA. Disponible en <http://bcn.cl/28ziq> (marzo 2019).

Faoro F, Gozzo F. Is modulating virus virulence by induced systemic resistance realistic? *Plant Science.* 2015;234:1-13.

FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data> fecha=02/04/2022.

García GL, Zerriouh H, Romero D, Cubero J, de Vicente A, Pérez GA. The antagonistic strain *Bacillus subtilis* UMAF6639 also confers protection to melon plants against cucurbit powdery mildew by activation of jasmonate- and salicylic acid-dependent defense responses. *Microbial Biotechnology.* 2013;6(3):264-74.

García Martínez, A. et al. (2023), "Perspectivas mundiales sobre la producción y comercialización de tomates", *Revista Internacional de Horticultura*, 15(3), 210-225

Garnica VA, Raya GJ, López BJ, Beltrán PE. Señalización del ácido jasmónico y el óxido nítrico durante el desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *Ciencia Nicolaita*. 2012;55:28-41.

GERRETSEN, F. C. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. In: *Plant Soil*, 1948, vol. 1. p. 51-81.

GOLDSTEIN, Alan & KRISHNARAJ, P. Phosphate solubilizing microorganisms vs. phosphate mobilizing microorganisms: what separates a phenotype from a trait? In: *First International meeting on microbial phosphate solubilization*: Springer, Dordrecht, 2007, p. 203-213.

Gravel, V.; Antoun, H. and Tweddell, R. J. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39(8):1968-1977.

Gutjahr, C., & Parniske, M. (2013). Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 29, 593-617.

Gyaneshwar, P., Kumar, G. N., Parekh, L. J., & Poole, P. S. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. In *Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants. Genetic Capabilities*.

Hammond Kosack, K., Jones, J. 1996. Resistance gene dependent plant defense responses, *The Plant Cell* 8: 1773–1791.

Harley, J. L. & S. E. Smith (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press Inc., London, UK. Lynch, J. M. (1990). *The Rhizosphere*. John Wiley & Sons, New York, USA.

Hu, W, X. Lv, J. Yang, B. Chen, W. Zhao, Y. Meng, Y. Wang, Z. Zhou y D. Oosterhuis. 2016. Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.* 191, 139-149.

INEGI. 2018. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017.

Jiang Tian , Fei Ge , Dayi Zhang , Songqiang Deng & Xingwang Liu (2021). Roles of Phosphate Solubilizing Microorganisms from Managing Soil Phosphorus Deficiency to Mediating Biogeochemical P Cycle.

John Paul Delano Frier, Alberto Flores Olivas, José Humberto Valenzuela Soto. 2024. Bio-Inoculation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) with *Enterobacter* sp. DBA51 increases growth and yields under open-field conditions. *Agronomy*. 14, 702.

Jones, J. D. G., & Dang, J. L. (2006). The plant immune system. *Nature* 444(7117), pag. 323

José Humberto Valenzuela Soto, Luis David Maldonado Bonilla, Gustavo Hernández Guzmán, Gabriel Rincón Enríquez. Infection by a coronatine-producing strain of *Pectobacterium cacticidum* isolated from sunflower plants in Mexico is characterized by soft rot and chlorosis. *The Phytopathological Society of Japan and Springer Japan* 2015.

Kalaji, H., A. Oukarroum, V. Alexandrov, V. Kouzmanova, M. Brestic, M. Zivcak, I. Samborska, M. Cetner, S. Allakhverdiev y V. Goltsev. 2014. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiol. Biochem.* 81, 16-25.

Kaur, G., & Singh, A. (2017). Soil phosphorus dynamics: Management approaches for improving agronomic efficiency and environmental quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 930-953.

Kepinski S, Leyser O. SCF Mediated Proteolysis and Negative Regulation in Ethylene Signaling. *Cell*. 2003;115(6):647-8.

Brosché M, Kangasjärvi J. Low antioxidant concentrations impact on multiple signalling pathways in *Arabidopsis thaliana* partly through NPR1. *Journal of Experimental Botany*. 2012;63(5):1849-1861.

Kue. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. *European Journal of Plant Pathology* 107(1):7-12. 2017

Kumari B., Mallick, M. A., Solanki, M. K., Solanki, A. C., Hora, A., Guo, W. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): modern prospects for sustainable agriculture. In:

- Ansari, R. and Mahmood, I. (Ed.). Plant health under biotic stress. Springer. Singapore. 109-127 pp.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lara, C., Esquivel Avila, L. M. & Penata, N. (2011). Native phosphate solubilizing bacteria to increase the crops in the department of Cordova-Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 9(2): 114-120.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York
- Luna Rivero MS, Hernández Zepeda C, Villanueva Alonzo H, Minero García Y, Castell González SE, Moreno Valenzuela OA. Expression of genes involved in the salicylic acid pathway in type h1 thioredoxin transiently silenced pepper plants during a begomovirus compatible interaction. *Molecular Genetics and Genomics*. 2016;291(2):819–830.
- Lynch, J. P., & Brown, K. M. (2008). Root strategies for phosphorus acquisition. In *Root Physiology: from Gene to Function* (pp. 83-116). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ma, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., & Zhang, C. (2020). Biochemical and genomic insights into the potential of arbuscular mycorrhizal fungi to enhance plant phosphate acquisition under Cd and As stress. *Functional Ecology*, 34(1), 124-138.
- Marquez, H. C., P. Cano R., N, Rodriguez, A, Moreno R., E, de la Cruz L., J, L. Garcia H., P. Preciado R., G. Castañeda G. y C Garcia P, 2009. Producción en invernadero de tomate orgánico. In: I Simposio de Produccion Moderna de Melon y Tomate. XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Torreon Coahuila, Mexico, p,1-24.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academia Press, Londres, UK.
- Mena, V. H. and Olalde, P. V. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Sci. Hortic*. 113(1):103-106.

- Nascimento, F. X., Rossi, M. J., Glick, B. R., & Soares, C. R. F. S. (2018). The effects of ACC deaminase-producing bacteria on growth promotion and systemic resistance in tomato plants. *Journal of Microbiology*, 56(5), 353–364. doi:10.1007/s12275-018-8015-6
- Navarro Guajardo N, et. al., (2018). Candelilla Wax as Natural Slow-Release Matrix for Fertilizers Encapsulated by Spray Chilling, *J. Renew. Mater.*, Vol. 6.
- Naz, M. Y., & Sulaiman, S. A. (2016). Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review. *Journal of Controlled Release*, 225, 109-120.
- Nedovic V., Kalusevic A., Manojlovic V., Levic S., Bugarski B. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science* 1 (2011) 1806-1815.
- Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami & W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.* 126, 203-233.
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature*.
- Pérez Torres C, et. al., (2018). Liberación controlada: cómo los plásticos pueden mejorar el rendimiento de la agricultura, *Plastics Technology Mexico*, Marzo No. 2 Vol. 3.
- Pieterse CMJ, Zamioudis C, Berendsen RL, Weller DM, Van Wees SCM, Bakker PAHM. Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual Review of Phytopathology*. 2014;52:347–75.
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., & Bakker, P. A. H. M. (2014). Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52(1), 347–375. doi:10.1146/annurev-phyto-082712-102340
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Reviews Phytopathology*, 52, 347-375.

Raven, Peter H., George B. Johnson, Kenneth A. Mason, Jonathan B. Losos, y Susan R. Singer. "Biogeochemical Cycles". (Ciclos biogeoquímicos). En *Biology*, 1209-1214. 10a ed., AP ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

Reddy, P. P. (2014). Plant grow promoting rhizobacteria for horticultural crop protection. Bangalore, Karnataka, India: Springer.

Riaz M., Kamran M., Fang Y., Wang Q., Cao H., Yang G., Deng L., Wang Y., Zhou Y., Anastopoulos I. Mitigación de metales pesados inducida por hongos micorrízicos arbusculares Fitotoxicidad en suelos contaminados con metales: una revisión crítica. *J. Peligro. Madre*. 2021; 402 :123919.

Richardson, A. E., Lynch, J. P., Ryan, P. R., Delhaize, E., Smith, F. A., Smith, S. E., ... & Tester, M. (2011). Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant*

Rick, C. M. (Ed.). (2018). *The Tomato: Crop Production Science in Horticulture*. CABI

Rincón, L. E. C., y Gutiérrez, F. A. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista colombiana de biotecnología* 14(1): 285-295.

Rodríguez, RJ, Henson, J., Van Volkenburgh, E., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., et al. (2008). Tolerancia al estrés en plantas mediante simbiosis adaptada al hábitat. *En t. Soc. Microbio. Ecológico*. 2, 404–416.

Roy A, Singh SK, Bajpai J, Bajpai AK: Controlled pesticide release from biodegradable polymers. *Central European Journal of Chemistry* 2014, 12(4):453-469.

Rubio, V., R. Bustos, M. Irigoyen, X. Cardona-López, R. Rojas Triana & J. Paz-Ares. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Mol. Biol.* 69(4), 361-373.

Salam, EA, Alatar, A., El-Sheikh, MA (2017). La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares alivia los efectos nocivos del estrés por sequía en la rosa de damasco. *Arabia J. Biol. Ciencia*. 25 (8), 1772-1780. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.10.015

Sánchez del Castillo, F., Moreno Pérez, E. C.; Coatzín Ramírez, R.; Colinas León, M. T. & Peña Lomelí, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Rev. Chapingo Hortic.* 16(3):207-214.

Sandoval, v, m, 2005. Densidad de plantas un dilema técnico en la producción de tomate rojo en hidroponía e invernaderos. *Productores de hortalizas. Especial de tomate. Número especial*, p. 14-17.

Schindler, D. W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2), 356-363.

SIMS, J Thomas & VADAS, Peter Alexander. Phosphorus in soils. Overview. In: *Encyclopedia of soils in the environment*. Vol. 3, Academic Press. 2005. p. 202-210.

SINGH, Bijender & SATYANARAYANA, T. Production of phytate-hydrolyzing enzymes by thermophilic moulds. In: *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 11, no. 59. p. 12314-12324.

Smith, S. E. & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 227-250.

Suleman, M., Yasmin, S., Rasul, M., Yahya, M., Atta, B. M., Mirza, M. S. & Arshad, M. (2018). Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. *PLoS ONE*, 13(3), e0194620.

Syers J.k., Johnston A.E. & Curtin D. Effect of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO: Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*. Roma. 2008.

Tada Y, Spoel SH, Pajeroska Mukhtar K, Mou ZL, Song JQ, Wang C, Zuo JR, Dong XN. Plant immunity requires conformational changes of NPR1 via S-nitrosylation and thioredoxins. *Science*. 2008;321(5891):952–956.

Tada Y, Spoel SH, Pajeroska Mukhtar K, Mou ZL, Song JQ, Wang C, Zuo JR, Dong XN. Plant immunity requires conformational changes of NPR1 via S-nitrosylation and thioredoxins. *Science*. 2008;321(5891):952–956.

Thaler JS, Humphrey PT, Whiteman NK. Evolution of jasmonate and salicylate signal crosstalk. *Trends Plant Science*. 2012;17(5):260-270.

- Tilak, K., Ranganayaki, N., Pal, K., De, R., Saxena, A., Nautiyal, C. S., Mittal, S., Tripathi, A. y Johri, B. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*. 89(1): 136-150.
- Ton, J., Van Pelt, J.A., Van Loon, L.C., & Pieterse, M.J. 2002. Differential effectiveness of salicylate-dependent and jasmonate/ethylene-dependent induced resistance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 15: 27-34.
- Toth, I. K. (2003). *Pectobacterium* spp. And pectobacteriosis. *Plant Pathology*, 52(3), 307-312.
- Trenkel, M. E. (2010). Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association.
- Van, L. L. C. (1997). Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *European Journal of Plant Pathology*, 103(9), 753–765.
- Velasco H., E. 2011. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. bba. Chapingo, Méx.
- Verhagen, B., Glazebrook, J., Zhu, T., Chang, H., van Loon, L., Pieterse, C. 2004. The transcriptome of rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant Microbe Interactions*. 17: 895-908.
- Verhagen, B.W., Glazebrook, J., Zhu, T., Chang, H.S., Van Loon, L.C., and Pieterse, M.J. 2004. The transcriptome of rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant Microbe Interactions* 17: 895-908.
- Villanueva Alonzo HJ, Us Camas RY, López Ochoa LA, Robertson D, Guerra Peraza O, Minero García & MorenoValenzuela OA. A new virus-induced gene silencing vector based on Euphorbia mosaic virus-Yucatan peninsula for NPR1 silencing in *Nicotiana benthamiana* and *Capsicum annuum* var. Anaheim. *Biotechnology Letters*.
- Villegas, D. A., Dussán, S. L., & Miranda, D. (2016). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. Ica Palmira II en fase de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 40–52.

Wang S, Wu H, Qiao J, Ma L, Liu J, Xia Y, Gao X. Molecular mechanism of plant growth promotion and induced systemic resistance to Tobacco Mosaic Virus by *Bacillus* spp. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2009;9(10):1250-1258.

Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S. & Wang, Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers

Yolanda Ortega Ortega, Luis Gerardo Sarmiento López, Adolfo Baylón Palomino, Jairo Vázquez Lee, Luis David Maldonado Bonilla, Alberto Flores Olivas, José Humberto Valenzuela Soto. 2023. *Enterobacter* sp. DBA51 produces ACC deaminase and promotes the growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants under greenhouse condition. *Current Research in Microbial Sciences*. 6: 100207.

Zhang, M., Nyborg, M., Malhi, S. S., McKenzie, R. H., & Solberg, E. (2000). Phosphorus release from coated monoammonium phosphate: effect of coating thickness, temperature, elution medium, soil moisture and placement method. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(1), 127-134.

Zhang, Y., Wang, X., & Liu, Z. (2020). Evaluation of Tomato Leaf Health Using NDVI-Based Segmentation. *Journal of Plant Sciences*, 45(3), 233-240.

Zhu L, Li Y, Li L, Yang J, Zhang M. Ethylene is involved in leafy mustard systemic resistance to Turnip mosaic virus infection through the mitochondrial alternative oxidase pathway. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2011;76(3-4):166-172.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Solución Hoagland

Macronutrientes	
NH ₄ H ₂ PO ₄	115 g/l
KNO ₃	101 g/l
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	236 g/l
MgSO ₄ 7H ₂ O	246.5 g/l
Micronutrientes	
H ₃ BO ₃	2.86 g/l
MnCl ₂ 4H ₂ O	1.81 g/l
ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.22 g/l
CuSO ₄ 5H ₂ O	0.08 g/l
Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	0.12 g/l
Iron	
Iron stock	0.25 ml

Anexo 2. Anova altura de la planta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura	90	0.50	0.45	8.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1227.01	8	153.38	10.11	<0.0001
Tratamientos	1227.01	8	153.38	10.11	<0.0001
Error	1229.12	81	15.17		
Total	2456.13	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.55238

Error: 15.1743 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
FE	49.47	10	1.23	A			
MKP + R	48.63	10	1.23	A	B		
FE + HMA	45.66	10	1.23	A	B	C	
Control	44.33	10	1.23	A	B	C	D
MKP + HMA + R	43.15	10	1.23		B	C	D E
MKP	42.83	10	1.23			C	D E
FE + R	41.46	10	1.23			C	D E
FE + HMA + R	39.25	10	1.23				D E
MKP + HMA	37.78	10	1.23				E

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

Anexo 3. Tabla de comparaciones de altura de la planta

HMA	Medias	n	E. E.																
sin	45.79	50	4.74637377	A															
con	41.46	40	4.98622101		B														
Rizobacteria	Medias	n	E. E.																
sin	44.12	50	5.4764956	A															
con	43.12	40	4.84447646	A															
FE	Medias	n	E. E.																
sin	43.96	40	5.26938934	A															
con	43.29	50	5.16955279	A															
MKP	Medias	n	E. E.																
sin	43.88	60	4.77758197	A															
con	43.19	30	6.34984164	A															
HMA - R	Medias	n	E. E.																
sin sin	46.53	30	4.64282122	A															
sin con	45.05	20	3.9640888	A															
con sin	41.72	20	4.64282122		B														
con con	41.2	20	3.48087969		B														
HMA - FE	Medias	n	E. E.																
sin sin	46.11	30	4.23166503	A															
sin con	45.47	20	4.88406593	A	B														
con con	42.46	20	4.35929754		B	C													
con sin	40.47	20	5.36108898			C													
HMA - MKP	Medias	n	E. E.																
sin con	48.63	10	3.2261587	A															
sin sin	44.84	40	4.2911071		B														
con sin	42.46	20	4.3592975		B	C													
con con	40.47	20	5.361089			C													
R - FE	Medias	n	E. E.																
sin con	47.57	20	2.97365096	A															
con sin	45.89	20	4.8957022	A															
sin sin	40.68	30	4.64282122		B														
con con	40.36	20	2.7672143		B														
R - MKP	Medias	n	E. E.																
sin sin	46.24	40	4.53588785	A															
con con	45.89	20	4.8957022	A															
con sin	40.36	20	2.7672143		B														
sin con	37.78	10	3.22615871		B														
FE - MKP	Medias	n	E. E.																

con con	sd	0	0	A															
con sin	43.96	40	5.14629964		B														
sin sin	43.58	10	2.48034272		B														
sin con	43.19	40	5.73290884		B														
HMA - R - FE	Medias	n	E. E.																
sin sin con	49.47	10	4.88406593	A															
sin con sin	48.63	10	4.36280873	A	B														
con sin con	45.66	10	2.74342851	A	B	C													
sin sin sin	43.58	20	2.97365096		B	C	D												
con con sin	43.15	10	3.72645945			C	D												
sin con con	41.46	10	1.17135927			C	D	E											
con con con	39.25	10	3.15222144				D	E											
con sin sin	37.78	10	5.40162938					E											
HMA - R -MKP	Medias	n	E. E.																
sin sin con	sd	0	0	A															
sin con con	48.63	10	4.36280873		B														
sin sin sin	46.53	30	4.64282122		B	C													
con sin sin	45.66	10	2.74342851		B	C	D												
con con con	43.15	10	3.72645945			C	D	E											
sin con sin	41.46	10	1.17135927				D	E	F										
con con sin	39.25	10	3.15222144					E	F										
con sin con	37.78	10	5.40162938						F										
HMA - FE -MKP	Medias	n	E. E.																
sin con con	sd	0	0	A															
con sin sin	sd	0	0		B														
con con con	sd	0	0			C													
sin sin con	48.63	20	3.22615871				D												
sin con sin	45.47	20	5.42542856				D	E											
sin sin sin	43.58	10	2.48034272					E	F										
con con sin	42.46	20	4.35929754					E	F										
con sin con	40.47	20	5.40162938						F										
R- FE -MKP	Medias	n	E. E.																
sin con con	sd	0	0	A															
con sin sin	sd	0	0		B														
con con con	sd	0	0			C													
sin con sin	47.57	20	4.88406593				D												
con sin con	45.89	20	4.8957022				D	E											
sin sin sin	43.58	20	2.48034272					E	F										
con con sin	40.36	20	2.7672143						F	G									
sin sin con	37.78	10	3.22615871							G									

HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E. E.															
con sin sin sin	sd	0	0	A														
sin con con con	sd	0	0		B													
sin con sin sin	sd	0	0			C												
sin sin con con	sd	0	0				D											
sin sin sin con	sd	10	3.22615871					E										
con con sin sin	sd	0	0						F									
con sin con con	sd	0	0							G								
con con con con	sd	0	0								H							
sin sin con sin	49.47	10	4.88406593									I						
sin con sin con	48.63	10	4.36280873									I	J					
con sin con sin	45.66	10	2.74342851									I	J	K				
sin sin sin sin	43.58	10	2.48034272										J	K	L			
con con sin con	43.15	10	3.72645945											K	L			
sin con con sin	41.46	10	1.71359272											K	L	M		
con con con sin	39.25	10	3.13222144												L	M		
con sin sin con	37.78	10	5.40162938													M		

Anexo 4. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.79504

Error: 16.2166 gl: 72

FE Medias n E.E.

con 43.96 40 0.64 A

sin 43.10 40 0.64 A

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

Anexo 5. Anova sinergia HMA - FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.34924

Error: 16.2166 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin sin 45.73 20 0.90 A

sin con 45.47 20 0.90 A

con con 42.46 20 0.90 A B

con sin 40.47 20 0.90 B

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

Anexo 6. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.34924

Error: 16.2166 gl: 72

Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	con	47.57	20	0.90	A
con	sin	45.89	20	0.90	A
con	con	40.36	20	0.90	B
sin	sin	40.31	20	0.90	B

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

Anexo 7. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.62214

Error: 16.2166 gl: 72

HMA	Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	49.47	10	1.27	A
sin	con	sin	48.63	10	1.27	A B
con	sin	con	45.66	10	1.27	A B C
con	con	sin	43.15	10	1.27	B C D
sin	sin	sin	42.83	10	1.27	C D
sin	con	con	41.46	10	1.27	C D
con	con	con	39.25	10	1.27	D
con	sin	sin	37.78	10	1.27	D

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

Anexo 8. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.85391

Error: 16.2166 gl: 72

MKP	Medias	n	E.E.	
sin	43.73	50	0.57	A
con	43.19	30	0.74	A

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

Anexo 9. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.61759

Error: 16.2166 gl: 72

HMA	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	con	48.63	10	1.27	A
sin	sin	44.59	30	0.74	B
con	sin	42.46	20	0.90	B C
con	con	40.47	20	0.90	C

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

Anexo 10. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.61759

Error: 16.2166 gl: 72

Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	45.99	30	0.74	A
con	con	45.89	20	0.90	A
con	sin	40.36	20	0.90	B
sin	con	37.78	10	1.27	B

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

Anexo 11. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.26395

Error: 16.2166 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	sd	0	sd	A
sin	con	con	48.63	10	1.27	B
sin	sin	sin	46.15	20	0.90	B C
con	sin	sin	45.66	10	1.27	B C
con	con	con	43.15	10	1.27	C D
sin	con	sin	41.46	10	1.27	C D E
con	con	sin	39.25	10	1.27	D E
con	sin	con	37.78	10	1.27	E

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

Anexo 12. Anova diámetro del tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro del tallo	90	0.36	0.30	9.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.96	8	2.12	5.70	<0.0001
Tratamientos	16.96	8	2.12	5.70	<0.0001
Error	30.16	81	0.37		
Total	47.12	89			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.86974

Error: 0.3723 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
FE + Rizo	7.05	10	0.19	A
MKP + Rizo	6.61	10	0.19	A B
FE + HMA	6.61	10	0.19	A B
FE	6.43	10	0.19	A B
MKP	6.13	10	0.19	B C
MKP + HMA + Rizo	6.13	10	0.19	B C
FE + HMA + Rizo	6.10	10	0.19	B C
Control	5.79	10	0.19	B C
MKP + HMA	5.54	10	0.19	C

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

Anexo 13. Tabla de comparaciones de diámetro del tallo

HMA	Medias	n	E.E.																	
sin	6.5125	50	0.7598658	A																
con	6.095	40	0.6355903		B															
Rizobacteria	Medias	n	E.E.																	
con	6.4725	40	1.2343777	A																
sin	6.135	50	0.6669377		B															
FE	Medias	n	E.E.																	
con	6.5475	40	0.7752379	A																
sin	6.06	50	0.6065837		B															
MKP	Medias	n	E.E.																	
sin	6.43	60	0.8093825	A																
con	6.0933333	30	0.6150152		B															
HMA - R	Medias	n	E.E.																	
sin - con	6.83	20	1.6269973	A																
sin - sin	6.195	30	0.6218699		B															
con - con	6.115	20	0.5160184		B															
con - sin	6.075	20	0.0588982		B															
HMA - FE	Medias	n	E.E.																	
sin - con	6.74	20	0.8662563	A																
con - con	6.355	20	0.6143899	A																
sin - sin	6.285	30	0.5788974	A	B															
con - sin	5.835	20	0.5433921		B															
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																	
sin - con	6.61	10	0.4428318	A																
sin - sin	6.48	40	0.8068109	A																
con - sin	6.355	20	0.6143899	A	B															
con - con	5.835	20	0.5433921		B															
R - FE	Medias	n	E.E.																	
con - con	6.575	20	0.8437269	A																
sin - con	6.52	20	0.6989993	A																
con - sin	6.37	20	0.5891519	A																
sin - sin	5.75	30	0.8655185		B															
R - MKP	Medias	n	E.E.																	
con - sin	6.575	20	0.8437269	A																
con - con	6.37	20	0.5891519	A																
sin - sin	6.3333333	40	0.6433938	A																

sin - con	5.54	10	0.4428318		B														
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
con - sin	6.5475	40	0.7752379		B														
sin - con	6.0933333	30	0.6475252			C													
sin - sin	5.96	20	0.3806573			C													
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	7.05	10	0.8333667	A															
con - sin - con	6.61	10	0.5889822	A	B														
sin - con - sin	6.61	10	0.57	A	B														
sin - sin - con	6.43	10	0.7836453	A	B														
con - con - sin	6.13	10	0.5040833		B	C													
con - con - con	6.1	10	0.5272571		B	C													
sin - sin - sin	5.96	20	0.4465423		B	C													
con - sin - sin	5.54	10	0.4029888			C													
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	sd	0	0	A															
sin - con - sin	7.05	10	0.8333667		B														
con - sin - sin	6.61	10	0.5889822		B	C													
sin - con - con	6.61	10	0.57		B	C													
sin - sin - sin	6.195	30	0.4795368			C	D												
con - con - con	6.13	10	0.5040833			C	D												
con - con - sin	6.1	10	0.5272571			C	D												
con - sin - con	5.54	10	0.4029888				D												
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - con - sin	6.74	20	0.8662563				D												
sin - sin - con	6.61	10	0.7836453				D												
con - con - sin	6.355	20	0.6143899				D	E											
sin - sin - sin	5.96	20	0.3806573					E											
con - sin - con	5.835	20	0.5433921					E											
R- FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
con - con - sin	6.575	20	0.8437269				D												
sin - con - sin	6.52	20	0.7836453				D	E											
con - sin - con	6.37	20	0.5891519				D	E											

sin - sin - sin	5.96	20	0.3806573						E	F				
sin - sin - con	5.54	10	0.4428318						F					
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A										
sin - con - con - con	sd	0	0		B									
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C								
sin - sin - con - con	sd	0	0				D							
sin - sin - sin - con	sd	0	0					E						
con - con - sin - sin	sd	0	0						F					
con - sin - con - con	sd	0	0							G				
con - con - con - con	sd	0	0								H			
sin - con - con - sin	7.05	10	0.8333667									I		
con - sin - con - sin	6.61	10	0.5889822									I	J	
sin - con - sin - con	6.61	10	0.57									I	J	
sin - sin - con - sin	6.43	10	0.7836453									I	J	
con - con - sin - con	6.13	10	0.5040833										J	K
con - con - con - sin	6.1	10	0.5272571										J	K
sin - sin - sin - sin	5.96	20	0.3806573										J	K
con - sin - sin - con	5.54	10	0.4029888											K

Anexo 14. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28148

Error: 0.3988 gl: 72

FE Medias n E.E.

con 6.55 40 0.10 A

sin 6.10 40 0.10 B

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

Anexo 15. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.52519

Error: 0.3988 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin con 6.74 20 0.14 A

sin sin 6.37 20 0.14 A

con con 6.36 20 0.14 A B

con sin 5.84 20 0.14 B

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

Anexo 16. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.52519

Error: 0.3988 gl: 72

Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
con	con	6.58	20	0.14	A
sin	con	6.52	20	0.14	A
con	sin	6.37	20	0.14	A
sin	sin	5.84	20	0.14	B

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

Anexo 17. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.88160

Error: 0.3988 gl: 72

HMA	Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	con	con	7.05	10	0.20	A
con	sin	con	6.61	10	0.20	A B
sin	con	sin	6.61	10	0.20	A B
sin	sin	con	6.43	10	0.20	A B
con	con	sin	6.13	10	0.20	B C
sin	sin	sin	6.13	10	0.20	B C
con	con	con	6.10	10	0.20	B C
con	sin	sin	5.54	10	0.20	C

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

Anexo 18. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29071

Error: 0.3988 gl: 72

MKP	Medias	n	E.E.	
sin	6.46	50	0.09	A
con	6.09	30	0.12	B

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

Anexo 19. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.56727

Error: 0.3988 gl: 72

HMA	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	con	6.61	10	0.20	A
sin	sin	6.54	30	0.12	A
con	sin	6.36	20	0.14	A B
con	con	5.84	20	0.14	B

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

Anexo 20. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.56727

Error: 0.3988 gl: 72

Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
con	sin	6.58	20	0.14	A
sin	sin	6.39	30	0.12	A
con	con	6.37	20	0.14	A
sin	con	5.54	10	0.20	B

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

Anexo 21. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.82543

Error: 0.3988 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	sd	0	sd	A
sin	con	sin	7.05	10	0.20	B
con	sin	sin	6.61	10	0.20	B C
sin	con	con	6.61	10	0.20	B C
sin	sin	sin	6.28	20	0.14	B C D
con	con	con	6.13	10	0.20	C D
con	con	sin	6.10	10	0.20	C D
con	sin	con	5.54	10	0.20	D

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

Anexo 22. Anova peso foliar fresco

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco	90	0.91	0.91	9.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23615.17	8	2951.90	107.78	<0.0001
Tratamientos	23615.17	8	2951.90	107.78	<0.0001
Error	2218.54	81	27.39		
Total	25833.71	89			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.45962

Error: 27.3894 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
FE	75.72	10	1.65	A
FE + R	71.67	10	1.65	A B
FE + HMA + R	69.38	10	1.65	A B
FE + HMA	65.52	10	1.65	B
Control	45.58	10	1.65	C
MKP	40.24	10	1.65	C D
MKP + R	38.12	10	1.65	D
MKP + HMA + R	36.99	10	1.65	D
MKP + HMA	33.62	10	1.65	D

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

Anexo 23. Tabla de comparaciones de peso foliar fresco

HMA	Medias	n	E.E.																
sin	57.106	50	16.802985	A															
con	51.37675	40	16.978691	B															
R	Medias	n	E.E.																
sin	54.44325	50	16.889838	A															
con	54.0395	40	16.948412	A															
FE	Medias	n	E.E.																
con	70.5745	40	7.0661754	A															
sin	37.90825	50	5.8438515	B															
MKP	Medias	n	E.E.																
sin	65.042	60	11.896891	A															
con	36.240333	30	4.7857221	B															
HMA - R	Medias	n	E.E.																
sin - sin	59.3175	30	16.425744	A															
sin - con	54.8945	20	17.334569	B															
con - con	53.1845	20	16.509029	B	C														
con - sin	49.569	20	7.3190038		C														
HMA - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con	73.6985	20	6.8307696	A															
con - con	67.4505	20	5.8037492	B															
sin - sin	40.5135	30	4.4645979		C														
con - sin	35.303	20	5.1124858			D													
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin	67.4505	20	5.8037492	A															
sin - sin	63.436333	30	14.475215	A															
sin - con	38.115	20	3.4864215	B															
con - con	35.303	20	5.1124858	B															
R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con	70.6225	20	9.0524703	A															
con - con	70.5265	20	4.2320022	A															
sin - sin	38.264	30	6.4133467	B															
con - sin	37.5525	20	3.5979409	B															
R - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin	70.5265	20	4.2320022	A															
sin - sin	61.385667	30	14.025639	B															
con - con	37.5525	20	3.5979409		C														

sin - con	33.616	20	5.715535			C													
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
con - sin	70.5745	40	7.0661754		B														
sin - sin	42.912	10	2.859493			C													
sin - con	36.240333	40	4.7857221				D												
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	75.723	10	7.6352093	A															
sin - con - con	71.674	10	5.1793054	A	B														
con - con - con	69.379	10	2.5220962	A	B														
con - sin - con	65.522	10	7.3190004		B														
sin - sin - sin	42.912	20	4.0872357			C													
sin - con - sin	38.115	10	3.3235681			C	D												
con - con - sin	36.99	10	3.7698064			C	D												
con - sin - sin	33.616	10	5.6896084				D												
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con		0	0	A															
sin - con - sin	71.674	10	5.1793054		B														
con - con - sin	69.379	10	2.5220962		B														
con - sin - sin	65.522	10	7.3190038		B	C													
sin - sin - sin	59.3175	30	16.136501			C													
sin - con - con	38.115	10	3.3235681				D												
con - con - con	36.99	10	3.7698064				D												
con - sin - con	33.616	10	5.6896084				D												
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con		0	0	A															
con - sin - sin		0	0		B														
con - con - con		0	0			C													
sin - con - sin	73.6985	20	6.8307696				D												
con - con - sin	67.4505	20	5.8037492					E											
sin - sin - sin	42.912	20	2.859493						F										
sin - sin - con	38.115	10	3.3162998						F	G									
con - sin - con	35.303	20	5.1124858							G									
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con		0	0	A															
con - sin - sin		0	0		B														
con - con - con		0	0			C													
sin - con - sin	70.6225	20	9.0524703					D											
con - con - sin	70.5265	20	4.2320022					D											
sin - sin - sin	42.912	10	2.859493						E										

con - sin - con	37.5525	20	3.5979409							F					
sin - sin - con	33.616	20	5.715535							F					
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.												
con - sin - sin - sin		0	0	A											
sin - con - con - con		0	0		B										
sin - con - sin - sin		0	0			C									
sin - sin - con - con		0	0				D								
sin - sin - sin - con		0	0					E							
con - con - con - con		0	0						F						
con - con - sin - sin		0	0							G					
con - sin - con - con		0	0								H				
sin - sin - con - sin	75.723	10	7.6352093									I			
sin - con - con - sin	71.674	10	5.1793054									I	J		
con - con - con - sin	69.379	10	2.5220962									I	J		
con - sin - con - sin	65.522	10	2.859493										J		
sin - sin - sin - sin	42.912	20	3.5979409											K	
sin - con - sin - con	38.115	10	3.3235681											K	L
con - con - sin - con	36.99	10	3.7698064											K	L
con - sin - sin - con	33.616	10	5.6896084												L

Anexo 24. Anova peso foliar seco

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
peso seco	90	0.73	0.71	9.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1401.43	8	175.18	27.89	<0.0001
Tratamientos	1401.43	8	175.18	27.89	<0.0001
Error	508.82	81	6.28		
Total	1910.25	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.57244

Error: 6.2817 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.					
FE	33.88	10	0.79	A				
FE + HMA	30.38	10	0.79	A	B			
FE + R	28.12	10	0.79		B	C		
FE + HMA + R	27.10	10	0.79		B	C		
Control	25.31	10	0.79			C	D	
MKP	23.12	10	0.79				D	E
MKP + HMA	22.73	10	0.79				D	E
MKP + R	22.66	10	0.79				D	E
MKP + HMA + R	21.26	10	0.79					E

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

Anexo 25. Tabla de comparaciones de peso foliar seco

HMA	Medias	n	E.E.																
sin	27.220375	50	4.7183018	A															
con	25.36875	40	4.3656742		B														
R	Medias	n	E.E.																
sin	27.804125	50	5.3182823	A															
con	24.785	40	3.0754146		B														
FE	Medias	n	E.E.																
con	29.87275	40	4.1501355	A															
sin	22.716375	50	1.8048941		B														
MKP	Medias	n	E.E.																
sin	28.7415	60	4.5596288	A															
con	22.216333	30	1.4765441		B														
HMA - R	Medias	n	E.E.																
sin - sin	29.05025	30	5.4212049	A															
con - sin	26.558	20	5.1147264		B														
sin - con	25.3905	20	3.008974		B	C													
con - con	24.1795	20	3.0214508			C													
HMA - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con	31.003	20	4.3995319	A															
con - con	28.7425	20	3.5406834		B														
sin - sin	23.43775	30	1.6884686			C													
con - sin	21.995	20	5.1147264			C													
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin	28.7425	20	3.5406834	A															
sin - sin	28.740833	30	4.5697283	A															
sin - con	22.659	20	1.0690626		B														
con - con	21.995	20	0.8722293		B														
R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con	32.133	20	4.7596324	A															
con - con	27.6125	20	1.2552644		B														
sin - sin	23.47525	30	1.7289109			C													
con - sin	21.9575	20	1.1623892			C													
R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin	29.494167	40	5.1208036	A															
con - sin	27.6125	20	1.2552644	A															
sin - con	22.734	10	1.1055406		B														

con - con	21.9575	20	0.9784217		B														
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
con - sin	29.87275	40	3.069956		B														
sin - sin	24.2165	10	1.5334344			C													
sin - con	22.216333	40	1.4765441				D												
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	33.884	10	4.4590452	A															
con - sin - con	30.382	10	4.392393		B														
sin - con - con	28.122	10	1.4927679		B														
con - con - con	27.103	10	0.6354849		B	C													
sin - sin - sin	24.2165	20	1.7289109			C	D												
con - sin - sin	22.734	10	1.944681				D												
sin - con - sin	22.659	10	0.9784217				D												
con - con - sin	21.256	10	0.8722293				D												
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	30.382	10	4.392393		B														
sin - sin - sin	29.05025	30	5.4298032		B	C													
sin - con - sin	28.122	10	1.4927679		B	C													
con - con - sin	27.103	10	0.6354849			C													
con - sin - con	22.734	10	1.944681				D												
sin - con - con	22.659	10	0.9784217				D												
con - con - con	21.256	10	0.8722293				D												
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
con - sin - con	31.003	20	1.944681				D												
con - con - sin	28.7425	20	3.5406834				D												
sin - sin - sin	24.2165	20	1.5334344					E											
sin - sin - con	22.659	10	1.1055406					E											
con - sin - con	21.995	20	1.6785127					E											
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - con - sin	32.133	20	4.4590452				D												
con - con - sin	27.6125	20	1.2552644					E											
sin - sin - sin	24.2165	20	1.5334344						F										

sin - sin - con	22.734	10	1.1055406							F					
con - sin - con	21.9575	20	1.1623892							F					
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.												
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A											
sin - con - con - con	sd	0	0		B										
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C									
sin - sin - con - con	sd	0	0				D								
sin - sin - sin - con	sd	0	0					E							
con - con - con - con	sd	0	0						F						
con - con - sin - sin	sd	0	0							G					
con - sin - con - con	sd	0	0								H				
sin - sin - con - sin	33.884	10	4.4590452									I			
con - sin - con - sin	30.382	10	4.392393										J		
sin - con - con - sin	28.122	10	1.4927679										J		
con - con - con - sin	27.103	10	0.6354849										J	K	
sin - sin - sin - sin	24.2165	10	1.5334344											K	L
con - sin - sin - con	22.734	20	1.6785127												L
sin - con - sin - con	22.659	10	0.9784217												L
con - con - sin - con	21.256	10	0.8722293												L

Anexo 26. Anova sinergia FE

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.15727

Error: 6.7403 gl: 72

FE Medias n E.E.

con 29.87 40 0.41 A

sin 22.44 40 0.41 B

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

Anexo 27. Anova sinergia HMA – FE

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.15927

Error: 6.7403 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin con 31.00 20 0.58 A

con con 28.74 20 0.58 B

sin sin 22.89 20 0.58 C

con sin 22.00 20 0.58 C

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

Anexo 28. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.15927

Error: 6.7403 gl: 72

Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	con	32.13	20	0.58	A
con	con	27.61	20	0.58	B
sin	sin	22.93	20	0.58	C
con	sin	21.96	20	0.58	C

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

Anexo 29. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.62462

Error: 6.7403 gl: 72

HMA	Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	33.88	10	0.82	A
con	sin	con	30.38	10	0.82	A B
sin	con	con	28.12	10	0.82	B
con	con	con	27.10	10	0.82	B
sin	sin	sin	23.12	10	0.82	C
con	sin	sin	22.73	10	0.82	C
sin	con	sin	22.66	10	0.82	C
con	con	sin	21.26	10	0.82	C

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

Anexo 30. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.19522

Error: 6.7403 gl: 72

MKP	Medias	n	E.E.	
sin	28.52	50	0.37	A
con	22.22	30	0.47	B

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

Anexo 31. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.33228

Error: 6.7403 gl: 72

HMA	MKP	Medias	n	E.E.	
con	sin	28.74	20	0.58	A
sin	sin	28.38	30	0.47	A
sin	con	22.66	10	0.82	B
con	con	22.00	20	0.58	B

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

Anexo 32. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 -MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.33228

Error: 6.7403 gl: 72

Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	29.13	30	0.47	A
con	sin	27.61	20	0.58	A
sin	con	22.73	10	0.82	B
con	con	21.96	20	0.58	B

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

Anexo 33. Anova HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.39370

Error: 6.7403 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	sd	0	sd	A
con	sin	sin	30.38	10	0.82	B
sin	sin	sin	28.50	20	0.58	B
sin	con	sin	28.12	10	0.82	B
con	con	sin	27.10	10	0.82	B
con	sin	con	22.73	10	0.82	C
sin	con	con	22.66	10	0.82	C
con	con	con	21.26	10	0.82	C

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

Anexo 34. Anova peso fresco raíz

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
peso fresco raíz	63	0.77	0.73	18.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1595.68	8	199.46	22.23	<0.0001
Tratamientos	1595.68	8	199.46	22.23	<0.0001
Error	484.57	54	8.97		
Total	2080.25	62			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.17309

Error: 8.9735 gl: 54

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
FE	28.59	7	1.13	A		
Control	18.46	7	1.13		B	
FE + HMA + R	17.79	7	1.13		B	C
FE + R	15.79	7	1.13		B	C
MKP + R	14.78	7	1.13		B	C D
MKP	14.32	7	1.13		B	C D
MKP + HMA + R	13.12	7	1.13			C D
FE + HMA	13.11	7	1.13			C D
MKP + HMA	9.71	7	1.13			D

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

Anexo 35. Tabla de comparaciones peso fresco raíz

HMA	Medias	n	E.E.															
sin	18.385714	35	6.0923068	A														
con	13.4325	28	3.7774459		B													
Rizobacteria	Medias	n	E.E.															
sin	16.837714	35	7.158533	A														
con	15.3675	28	3.0063167	A														
FE	Medias	n	E.E.															
con	18.818214	28	6.6696685	A														
sin	14.077143	35	3.6792752		B													
MKP	Medias	n	E.E.															
sin	18.746857	35	6.0214264	A														
con	12.981071	28	2.6440372		B													
HMA - R	Medias	n	E.E.															
sin - sin	20.455238	21	6.7264613	A														
con - con	15.453571	14	3.0330621		B													
sin - con	15.281429	14	2.9768844		B													
con - sin	11.411429	14	3.3420457			C												
HMA - FE	Medias	n	E.E.															
sin - con	22.186429	14	7.3178662	A														
sin - sin	15.851905	21	3.1794783		B													
con - con	15.45	14	3.678344		B													
con - sin	11.415	14	2.6205663			C												
HMA - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - sin	20.944762	21	6.2715378	A														
con - sin	15.45	14	3.678344		B													
sin - con	14.547143	14	3.038833		B													
con - con	11.415	14	2.6205663			C												
R - FE	Medias	n	E.E.															
sin - con	20.849286	14	8.4802059	A														
con - con	16.787143	14	3.099471		B													
sin - sin	14.163333	21	3.6134344		B													
con - sin	13.947857	14	2.1067483		B													
R - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - sin	20.053333	21	7.0539076	A														
con - sin	16.787143	14	3.099471		B													
con - con	13.947857	14	2.1067483		B	C												

sin - con	12.014286	14	3.8339661			C													
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con		0	0	A															
con - sin	18.818214	28	7.5669773			B													
sin - sin	18.461429	7	1.2821124			B													
sin - con	12.981071	28	3.2328933			C													
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	28.587143	7	3.782534	A															
con - con - con	17.788571	7	2.5201668			B													
sin - sin - sin	16.389286	14	3.3344018			B													
sin - con - con	15.785714	7	3.2949175			B													
sin - con - sin	14.777143	7	2.5215285			B													
con - con - sin	13.118571	7	1.0692244			B	C												
con - sin - con	13.111429	7	3.1259167			B	C												
con - sin - sin	9.7114286	7	2.6052224			C													
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - sin	23.524286	14	5.7972589	A															
con - con - sin	17.788571	7	2.5201668			B													
sin - con - sin	15.785714	7	3.2949176			B													
sin - con - con	14.777143	7	2.5215285			B													
sin - sin - con	14.317143	7	3.4648385			B	C												
con - con - con	13.118571	7	1.0692244			B	C												
con - sin - sin	13.111429	7	3.1259167			B	C												
con - sin - con	9.7114286	7	2.6052224			C													
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0			B													
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - con - sin	22.186429	14	7.3178662					D											
sin - sin - sin	18.461429	7	1.2821124						E										
con - con - sin	15.45	14	3.678344						E	F									
sin - sin - con	14.547143	14	3.038833							F	G								
con - sin - con	11.415	14	2.6205663								G								
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0			B													
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - con - sin	20.849286	14	8.4802059					D											
sin - sin - sin	18.461429	7	1.2821124					D	E										
con - con - sin	16.787143	14	3.099471						E	F									

con - sin - con	13.947857	14	2.1067483						F	G				
sin - sin - con	12.014286	14	3.8339661							G				
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A										
sin - con - con - con	sd	0	0		B									
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C								
sin - sin - con - con	sd	0	0				D							
con - sin - con - con	sd	0	0					E						
con - con - con - con	sd	0	0						F					
con - con - sin - sin	sd	0	0							G				
sin - sin - con - sin	28.587143	7	3.782534								H			
sin - sin - sin - sin	18.461429	7	1.2821124									I		
con - con - con - sin	17.788571	7	2.5201668									I	J	
sin - con - con - sin	15.785714	7	3.2949176									I	J	
sin - con - sin - con	14.777143	7	2.5215285									I	J	K
sin - sin - sin - con	14.317143	7	3.4648385									I	J	K
con - con - sin - con	13.118571	7	1.0692244										J	K
con - sin - con - sin	13.111429	7	3.1259167										J	K
con - sin - sin - con	9.7114286	7	2.6052224											K

Anexo 36. Anova peso seco raíz

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
peso seco raíz	63	0.95	0.94	5.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	189.38	8	23.67	123.95	<0.0001
Tratamientos	189.38	8	23.67	123.95	<0.0001
Error	10.31	54	0.19		
Total	199.70	62			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.75470

Error: 0.1910 gl: 54

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
FE	11.59	7	0.17	A			
Control	11.53	7	0.17	A			
FE + HMA + R	8.14	7	0.17		B		
FE + R	7.93	7	0.17		B	C	
MKP + HMA	7.56	7	0.17		B	C	D
MKP + R	7.50	7	0.17		B	C	D
MKP	7.37	7	0.17			C	D
FE + HMA	6.98	7	0.17				D
MKP + HMA + R	6.93	7	0.17				D

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

Anexo 37. Tabla de comparaciones peso seco raíz

HMA	Medias	n	E.E.															
sin	9.184	35	1.99997171	A														
con	7.4010714	28	0.60505218		B													
R	Medias	n	E.E.															
sin	9.0045714	35	2.14226228	A														
con	7.6253571	28	0.58185959		B													
FE	Medias	n	E.E.															
con	8.6625	28	0.61077327	A														
sin	8.1748571	35	1.8253177		B													
MKP	Medias	n	E.E.															
sin	9.2354286	35	1.98707587	A														
con	7.3367857	28	0.44009783		B													
HMA - R	Medias	n	E.E.															
sin - sin	10.162857	21	2.04314916	A														
sin - con	7.7157143	14	0.38068949		B													
con - con	7.535	14	0.71823942		B	C												
con - sin	7.2671429	14	0.42477605			C												
HMA - FE	Medias	n	E.E.															
sin - con	9.7642857	14	1.84955869	A														
sin - sin	8.7971429	21	2.00293628		B													
con - con	7.5607143	14	0.60995902			C												
con - sin	7.2414286	14	0.44302301			C												
HMA - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - sin	10.351905	21	1.77234206	A														
con - sin	7.5607143	14	0.69637289		B													
sin - con	7.4321429	14	0.4158327		B													
con - con	7.2414286	14	0.44302301		B													
R - FE	Medias	n	E.E.															
sin - con	9.2857143	14	2.32386597	A														
sin - sin	8.8171429	21	1.99016425		B													
con - con	8.0392857	14	0.39562725			C												
con - sin	7.2114286	14	0.42181338				D											
R - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - sin	10.032857	21	2.21058954	A														
con - sin	8.0392857	14	0.39562725		B													
sin - con	7.4621429	14	0.42192042			C												

con - con	7.2114286	14	0.42181338			C													
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
sin - sin	11.527143	7	0.71419714		B														
con - sin	8.6625	28	1.74375746			C													
sin - con	7.3367857	28	0.44009783				D												
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	11.594286	7	0.29615909	A															
sin - sin - sin	9.4471429	14	2.1635831		B														
con - con - con	8.1442857	7	0.48452796			C													
sin - con - con	7.9342857	7	0.23711704			C													
con - sin - sin	7.5571429	7	0.37239435			C	D												
sin - con - sin	7.4971429	7	0.37158788			C	D												
con - sin - con	6.9771429	7	0.37239435				D												
con - con - sin	6.9257143	7	0.2334742				D												
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - sin	11.560714	14	0.56735554	A															
con - con - sin	8.1442857	7	0.48452796		B														
sin - con - sin	7.9342857	7	0.23711704		B	C													
con - sin - con	7.5571429	7	0.37239435		B	C	D												
sin - con - con	7.4971429	7	0.37158788		B	C	D												
sin - sin - con	7.3671429	7	0.44643714			C	D												
con - sin - sin	6.9771429	7	0.23236144				D												
con - con - con	6.9257143	7	0.2334742				D												
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - sin - sin	11.527143	7	0.71419714				D												
sin - con - sin	9.7642857	14	0.2961591					E											
con - con - sin	7.5607143	14	0.6963729						F										
sin - sin - con	7.4321429	14	0.4158327						F										
con - sin - con	7.2414286	14	0.443023						F										
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - sin - sin	11.527143	7	0.7141971				D												
sin - con - sin	9.2857143	14	2.323866					E											
con - con - sin	8.0392857	14	0.3956272						F										

sin - sin - con	7.4621429	14	0.4219204							G				
con - sin - con	7.2114286	14	0.42181338							G				
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A										
sin - con - con - con	sd	0	0		B									
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C								
sin - sin - con - con	sd	0	0				D							
con - sin - con - con	sd	0	0					E						
con - con - con - con	sd	0	0						F					
con - con - sin - sin	sd	0	0							G				
sin - sin - con - sin	11.594286	7	0.29615909								H			
sin - sin - sin - sin	11.527143	7	0.71419714								H			
con - con - con - sin	8.1442857	7	0.48452796									I		
sin - con - con - sin	7.9342857	7	0.23711704									I	J	
con - sin - sin - con	7.5571429	7	0.37239435									I	J	K
sin - con - sin - con	7.4971429	7	0.37158788									I	J	K
sin - sin - sin - con	7.3671429	7	0.44643714										J	K
con - sin - con - con	6.9771429	7	0.23236144											K
con - con - sin - con	6.9257143	7	0.2334742											K

Anexo 37. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20141

Error: 0.1405 gl: 48

FE Medias n E.E.

con 8.66 28 0.07 A

sin 7.34 28 0.07 B

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

Anexo 38. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37701

Error: 0.1405 gl: 48

HMA FE Medias n E.E.

sin con 9.76 14 0.10 A

con con 7.56 14 0.10 B

sin sin 7.43 14 0.10 B

con sin 7.24 14 0.10 B

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

Anexo 39. Anova sinergia HMA - Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63473

Error: 0.1405 gl: 48

HMA	Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	11.59	7	0.14	A
con	con	con	8.14	7	0.14	B
sin	con	con	7.93	7	0.14	B C
con	sin	sin	7.56	7	0.14	B C D
sin	con	sin	7.50	7	0.14	C D
sin	sin	sin	7.37	7	0.14	C D
con	sin	con	6.98	7	0.14	D
con	con	sin	6.93	7	0.14	D

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

Anexo 40. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.20141

Error: 0.1405 gl: 48

MKP	Medias	n	E.E.
sin	8.66	28	0.07
con	7.34	28	0.07

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

Anexo 41. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37701

Error: 0.1405 gl: 48

HMA	MKP	Medias	n	E.E.
sin	sin	9.76	14	0.10
con	sin	7.56	14	0.10
sin	con	7.43	14	0.10
con	con	7.24	14	0.10

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

Anexo 42. Anova sinergia HMA - Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63473

Error: 0.1405 gl: 48

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.
sin	sin	sin	11.59	7	0.14
con	con	sin	8.14	7	0.14
sin	con	sin	7.93	7	0.14
con	sin	con	7.56	7	0.14
sin	con	con	7.50	7	0.14
sin	sin	con	7.37	7	0.14
con	sin	sin	6.98	7	0.14
con	con	con	6.93	7	0.14

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

Anexo 43. Anova fotosíntesis

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fotosíntesis	90	0.63	0.59	30.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	437.62	8	54.70	17.31	<0.0001
Tratamientos	437.62	8	54.70	17.31	<0.0001
Error	256.00	81	3.16		
Total	693.61	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.53395

Error: 3.1604 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
MKP	10.48	10	0.56	A	
MKP + R	8.84	10	0.56	A	B
Control	6.40	10	0.56		B C
FE + R	5.34	10	0.56		C D
FE + HMA	4.86	10	0.56		C D
MKP + HMA + R	4.74	10	0.56		C D
FE + HMA + R	4.30	10	0.56		C D
MKP + HMA	3.94	10	0.56		C D
FE	3.72	10	0.56		D

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

Anexo 44. Tabla de comparaciones fotosíntesis

HMA	Medias	n	E.E.														
sin	6.586662	50	3.0389235	A													
con	4.4595529	40	1.5266749		B												
R	Medias	n	E.E.														
con	5.8061247	40	2.6429085	A													
sin	5.2400903	50	2.966468	A													
FE	Medias	n	E.E.														
sin	6.4893846	50	3.0425689	A													
con	4.5568304	40	2.517413		B												
MKP	Medias	n	E.E.														
con	5.8393553	40	3.2530531	A													
sin	5.3333588	50	1.8685232	A													
HMA - R	Medias	n	E.E.														
sin - con	7.092029	20	2.5286924	A													
sin - sin	6.0812951	30	3.3329734	A	B												
con - con	4.5202204	20	1.1724341		B	C											
con - sin	4.3988855	20	1.2964414			C											
HMA - FE	Medias	n	E.E.														
sin - sin	8.640792	30	2.5486501	A													

con - con	4.5811287	20	1.5985077		B														
sin - con	4.5325321	20	1.8829928		B														
con - sin	4.3379771	20	1.4410706		B														
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con	8.8421115	10	2.1715043	A															
sin - sin	5.8348456	40	1.8705175		B														
con - sin	4.5811287	20	1.5985077		B														
con - con	4.3379771	20	1.4410706		B														
R - FE	Medias	n	E.E.																
con - sin	6.7890028	20	2.7444824	A															
sin - sin	6.1897664	30	3.1663904	A	B														
con - con	4.8232467	20	1.7917741		B	C													
sin - con	4.2904141	20	1.6582099			C													
R - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	6.7890028	20	2.7444824	A															
sin - sin	5.6734336	40	1.9150064	A	B														
con - sin	4.8232467	20	1.7917741		B														
sin - con	3.9400602	10	2.1715043		B														
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
sin -sin	8.4394725	10	1.5961679		B														
sin - con	5.8393553	40	3.2530531			C													
con - sin	4.5568304	40	1.7467211			C													
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con - sin	8.8421115	10	1.9393716	A															
sin - sin - sin	8.4394725	20	2.794424	A															
sin - con - con	5.3419466	10	1.7034761		B														
con - sin - con	4.8577107	10	1.4058734		B														
con - con - sin	4.7358941	10	1.6949023		B														
con - con - con	4.3045467	10	1.726551		B														
con - sin - sin	3.9400602	10	1.4058734		B														
sin - sin - con	3.7231176	10	1.6968174		B														
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	sd	0	0	A															
sin - con - con	8.8421115	10	1.9393716		B														
sin - sin - sin	6.0812951	30	2.1211027			C													
sin - con - sin	5.3419466	10	1.7034761			C													
con - sin - sin	4.8577107	10	1.4058734			C													
con - con - con	4.7358941	10	1.6949023			C													
con - con - sin	4.3045467	10	1.726551			C													

con - sin - con	3.9400602	10	0.9818347			C												
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - con - con	sd	0	0	A														
con - sin - sin	sd	0	0		B													
con - con- con	sd	0	0			C												
sin - sin - con	8.8421115	10	2.1715043				D											
sin - sin - sin	8.4394725	20	1.5961679				D											
con - con - sin	4.5811287	20	1.5985077					E										
sin - con - sin	4.5325321	20	1.8829928					E										
con - sin - con	4.3379771	20	1.4410706					E										
R- FE - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - con - con	sd	0	0	A														
con - sin - sin	sd	0	0		B													
con - con - con	sd	0	0			C												
sin - sin - sin	8.4394725	20	1.5961679				D											
con - sin - con	6.7890028	20	2.7444824				D	E										
con - con - sin	4.8232467	20	1.7917741					E	F									
sin - con - sin	4.2904141	20	1.6582099						F									
sin - sin - con	3.9400602	10	2.1715043						F									
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.															
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A														
sin - con - con - con	sd	0	0		B													
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C												
sin - sin - con - con	sd	0	0				D											
sin - sin - sin - con	sd	0	0					E										
con - sin - con - con	sd	0	0						F									
con - con - sin - sin	sd	0	0							G								
con - con - con - con	sd	0	0								H							
sin - con - sin - con	8.8421115	10	1.9393716															I
sin -sin - sin - sin	8.4394725	20	1.5961679															I
sin - con - con- sin	5.3419466	10	1.7034761															J
con - sin - con - sin	4.8577107	10	1.4058734															J
con - con - sin - con	4.7358941	10	1.6949023															J
con - con - con - sin	4.3045467	10	1.726551															J
con - sin - sin - con	3.9400602	10	0.9818347															J
sin - sin - con - sin	3.7231176	10	1.6968174															J

Anexo 45. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.79759

Error: 3.2016 gl: 72

FE Medias n E.E.

sin 7.00 40 0.28 A

con 4.56 40 0.28 B

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

Anexo 46. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.48817

Error: 3.2016 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin sin 9.66 20 0.40 A

con con 4.58 20 0.40 B

sin con 4.53 20 0.40 B

con sin 4.34 20 0.40 B

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

Anexo 47. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.48817

Error: 3.2016 gl: 72

Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin sin 7.21 20 0.40 A

con sin 6.79 20 0.40 A

con con 4.82 20 0.40 B

sin con 4.29 20 0.40 B

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

Anexo 48. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.49808

Error: 3.2016 gl: 72

HMA Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin sin sin 10.48 10 0.57 A

sin con sin 8.84 10 0.57 A

sin con con 5.34 10 0.57 B

con sin con 4.86 10 0.57 B

con con sin 4.74 10 0.57 B

con con con 4.30 10 0.57 B

con sin sin 3.94 10 0.57 B

sin sin con 3.72 10 0.57 B

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

Anexo 49. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.82375

Error: 3.2016 gl: 72

MKP	Medias	n	E.E.	
con	5.84	30	0.33	A
sin	5.74	50	0.25	A

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

Anexo 50. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.60740

Error: 3.2016 gl: 72

HMA	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	con	8.84	10	0.57	A
sin	sin	6.52	30	0.33	B
con	sin	4.58	20	0.40	C
con	con	4.34	20	0.40	C

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

Anexo 51. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.60740

Error: 3.2016 gl: 72

Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
con	con	6.79	20	0.40	A
sin	sin	6.35	30	0.33	A B
con	sin	4.82	20	0.40	B C
sin	con	3.94	10	0.57	C

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

Anexo 52. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.33893

Error: 3.2016 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	sd	0	sd	A
sin	con	con	8.84	10	0.57	B
sin	sin	sin	7.10	20	0.40	B C
sin	con	sin	5.34	10	0.57	C D
con	sin	sin	4.86	10	0.57	C D
con	con	con	4.74	10	0.57	D
con	con	sin	4.30	10	0.57	D
con	sin	con	3.94	10	0.57	D

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

Anexo 53. Anova conductancia estomática

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
conductancia estomática	90	0.46	0.41	34.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	8	0.01	8.69	<0.0001
Tratamientos	0.08	8	0.01	8.69	<0.0001
Error	0.09	81	1.1E-03		
Total	0.16	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04695
Error: 0.0011 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
MKP	0.15	10	0.01	A			
FE + R	0.11	10	0.01	A	B		
MKP + R	0.11	10	0.01	A	B		
FE + HMA	0.10	10	0.01	A	B	C	
Control	0.10	10	0.01	A	B	C	
MKP + HMA	0.08	10	0.01		B	C	D
FE + HMA + R	0.08	10	0.01		B	C	D
MKP + HMA + R	0.06	10	0.01			C	D
FE	0.05	10	0.01				D

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

Anexo 54. Tabla de comparaciones conductancia estomática

HMA	Medias	n	E.E.														
sin	0.100823	50	0.047591	A													
con	0.080375	40	0.032191		B												
R	Medias	n	E.E.														
con	0.0913975	40	0.0393524	A													
sin	0.0898005	50	0.044875	A													
FE	Medias	n	E.E.														
sin	0.0952781	50	0.0442804	A													
con	0.0859198	40	0.038731	A													
MKP	Medias	n	E.E.														
sin	0.0938409	60	0.0393521	A													
con	0.0851957	30	0.0454912	A													
HMA - R	Medias	n	E.E.														
sin - con	0.1142623	20	0.0334955	A													
con - sin	0.0922174	20	0.0293661	A	B												
sin - sin	0.0873836	30	0.0525026	A	B												
con - con	0.0685326	20	0.0304905		B												
HMA - FE	Medias	n	E.E.														

sin - sin	0.1196776	30	0.0390856	A															
con - con	0.0898713	20	0.0287583		B														
sin - con	0.0819683	20	0.0462808		B														
con - sin	0.0708787	20	0.0298568		B														
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con	0.1138298	10	0.0500607	A															
sin - sin	0.0964873	40	0.0450462	A	B														
con - sin	0.0898713	20	0.0287583	A	B														
con - con	0.0708787	20	0.0326363		B														
R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin	0.1037465	30	0.050445	A															
con - con	0.0959852	20	0.0394337	A	B														
con - sin	0.0868097	20	0.0387312	A	B														
sin - con	0.0758544	20	0.0362496		B														
R - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin	0.0959852	20	0.0394337	A															
sin - sin	0.0924114	40	0.0386457	A															
con - con	0.0868097	20	0.0387312	A															
sin - con	0.0819677	10	0.0353898	A															
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
sin - sin	0.1255254	20	0.0390437		B														
con - sin	0.0859198	40	0.038731			C													
sin - con	0.0851957	30	0.0412973			C													
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - sin - sin	0.1255254	20	0.0438363	A															
sin - con - con	0.1146949	10	0.0399362	A	B														
sin - con - sin	0.1138298	10	0.025468	A	B														
con - sin - con	0.1024671	10	0.0228415	A	B	C													
con - sin - sin	0.0819677	10	0.0315102	A	B	C	D												
con - con - con	0.0772755	10	0.0285488		B	C	D												
con - con - sin	0.0597897	10	0.0298568			C	D												
sin - sin - con	0.0492417	10	0.0233852				D												
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	sd	0	0	A															
sin - con - sin	0.1146949	10	0.0399362		B														
sin - con - con	0.1138298	10	0.025468		B														
con - sin - sin	0.1024671	10	0.0228415		B	C													
sin - sin - sin	0.0873836	30	0.0417493		B	C													
con - sin - con	0.0819677	10	0.0315102		B	C													

con - con - sin	0.0772755	10	0.0285488		B	C													
con - con - con	0.0597897	10	0.0298568			C													
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - sin - sin	0.1255254	20	0.0039044				D												
sin - sin - con	0.1138298	10	0.0353898				D	E											
con - con - sin	0.0898713	20	0.0228415					E	F										
sin - con - sin	0.0819683	20	0.0233852					E	F										
con - sin - con	0.0708787	20	0.0315102						F										
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	sd	0	0	A															
con - sin - sin	sd	0	0		B														
con - con - con	sd	0	0			C													
sin - sin - sin	0.1255254	20	0.0390437				D												
con - con - sin	0.0959852	20	0.0399362				D	E											
con - sin - con	0.0868097	20	0.025468					E											
sin - sin - con	0.0819677	10	0.0353898					E											
sin - con - sin	0.0758544	20	0.03524963					E											
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A															
sin - con - con - con	sd	0	0		B														
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C													
sin - sin - con - con	sd	0	0				D												
sin - sin - sin - con	sd	0	0					E											
con - con - sin - sin	sd	0	0						F										
con - sin - con - con	sd	0	0							G									
con - con - con - con	sd	0	0								H								
sin - sin - sin - sin	0.1255254	20	0.0390437									I							
sin - con - con - sin	0.1146949	10	0.0399362									I	J						
sin - con - sin - con	0.1138298	10	0.025468									I	J						
con - sin - con - sin	0.1024671	10	0.0228415									I	J	K					
con - sin - sin - con	0.0819677	10	0.0315102									I	J	K	L				
con - con - con - sin	0.0772755	10	0.0285488										J	K	L				
con - con - sin - con	0.0597897	10	0.0298568											K	L				
sin - sin - con - sin	0.0492417	10	0.0233852																L

Anexo 55. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01416

Error: 0.0010 gl: 72

FE Medias n E.E.

sin 0.10 40 0.01 A

con 0.09 40 0.01 B

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

Anexo 56. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02642

Error: 0.0010 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin sin 0.13 20 0.01 A

con con 0.09 20 0.01 B

sin con 0.08 20 0.01 B

con sin 0.07 20 0.01 B

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

Anexo 57. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02642

Error: 0.0010 gl: 72

Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin sin 0.12 20 0.01 A

con con 0.10 20 0.01 A B

con sin 0.09 20 0.01 B

sin con 0.08 20 0.01 B

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

Anexo 58. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04434

Error: 0.0010 gl: 72

HMA Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin sin sin 0.15 10 0.01 A

sin con con 0.11 10 0.01 A B

sin con sin 0.11 10 0.01 A B

con sin con 0.10 10 0.01 B C

con sin sin 0.08 10 0.01 B C D

con con con 0.08 10 0.01 B C D

con con sin 0.06 10 0.01 C D

sin sin con 0.05 10 0.01 D

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

Anexo 59. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01462

Error: 0.0010 gl: 72

MKP	Medias	n	E.E.	
sin	0.10	50	4.5E-03	A
con	0.09	30	0.01	A

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

Anexo 60. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02853

Error: 0.0010 gl: 72

HMA	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	con	0.11	10	0.01	A
sin	sin	0.10	30	0.01	A
con	sin	0.09	20	0.01	A B
con	con	0.07	20	0.01	B

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

Anexo 61. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02853

Error: 0.0010 gl: 72

Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	0.10	30	0.01	A
con	sin	0.10	20	0.01	A
con	con	0.09	20	0.01	A
sin	con	0.08	10	0.01	A

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

Anexo 62. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DB51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04152

Error: 0.0010 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.	
sin	sin	con	sd	0	sd	A
sin	con	sin	0.11	10	0.01	B
sin	con	con	0.11	10	0.01	B
con	sin	sin	0.10	10	0.01	B
sin	sin	sin	0.10	20	0.01	B C
con	sin	con	0.08	10	0.01	B C
con	con	sin	0.08	10	0.01	B C
con	con	con	0.06	10	0.01	C

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

Anexo 63. Anova transpiración

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
transpiracion	90	0.43	0.38	28.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.6E-05	8	4.5E-06	7.74	<0.0001
Tratamientos	3.6E-05	8	4.5E-06	7.74	<0.0001
Error	4.7E-05	81	5.8E-07		
Total	8.3E-05	89			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00108

Error: 0.0000 gl: 81

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
MKP	3.6E-03	10	2.4E-04	A			
FE + R	3.4E-03	10	2.4E-04	A	B		
MKP + R	3.1E-03	10	2.4E-04	A	B	C	
Control	2.8E-03	10	2.4E-04	A	B	C	
FE + HMA	2.8E-03	10	2.4E-04	A	B	C	
FE + HMA + R	2.4E-03	10	2.4E-04		B	C	D
MKP + HMA	2.3E-03	10	2.4E-04			C	D
MKP + HMA + R	2.0E-03	10	2.4E-04			C	D
FE	1.5E-03	10	2.4E-04				D

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

Anexo 64. Tabla de comparaciones transpiracion

HMA	Medias	n	E.E.														
sin	0.0027969	50	0.0010414	A													
con	0.0023626	40	0.000752		B												
R	Medias	n	E.E.														
con	0.0027115	40	0.0009833	A													
sin	0.002448	50	0.0009365	A													
FE	Medias	n	E.E.														
sin	0.0026431	50	0.0009158	A													
con	0.0025164	40	0.0009946	A													
MKP	Medias	n	E.E.														
sin	0.0026556	50	0.000966	A													
con	0.0024534	40	0.0008316	A													
HMA - R	Medias	n	E.E.														
sin - con	0.0032331	20	0.0008323	A													
con - sin	0.0025352	20	0.0006119		B												
sin - sin	0.0023607	30	0.0010987		B												
con - con	0.00219	20	0.0008348		B												
HMA - FE	Medias	n	E.E.														
sin - sin	0.0031387	30	0.0007531	A													

con - con	0.0025776	20	0.0006413	A	B														
sin - con	0.0024551	20	0.0012489		B														
con - sin	0.0021476	20	0.000792		B														
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - con	0.0030649	10	0.0006536	A															
sin - sin	0.0027076	40	0.0011318	A	B														
con - sin	0.0025776	20	0.0006413	A	B														
con - con	0.0021476	20	0.000792		B														
R - FE	Medias	n	E.E.																
con - con	0.002886	20	0.0010122	A															
sin - sin	0.0027492	30	0.0008825	A	B														
con - sin	0.002537	20	0.000921	A	B														
sin - con	0.0021467	20	0.0008249		B														
R - MKP	Medias	n	E.E.																
con - sin	0.002886	20	0.0010122	A															
con - con	0.002537	20	0.000921	A															
sin - sin	0.0025019	30	0.0008146	A															
sin - con	0.0022861	20	0.0009234	A															
FE - MKP	Medias	n	E.E.																
con - con	sd	0	0	A															
sin - sin	0.0032124	10	0.0007903		B														
con - sin	0.0025164	40	0.0009946			C	C												
sin - con	0.0024534	40	0.0009435			C	C												
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																
sin - con - con	0.0034012	10	0.0009854	A															
sin - sin - sin	0.0032124	20	0.0008297	A	B														
sin - con - sin	0.0030649	10	0.0005984	A	B														
con - sin - con	0.0027843	10	0.0004355	A	B	C													
con - con - con	0.0023708	10	0.0007399	A	B	C	D												
con - sin - sin	0.0022861	10	0.0006596		B	C	D												
con - con - sin	0.0020091	10	0.0008837			C	D												
sin - sin - con	0.0015091	10	0.0005986				D												
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																
sin - sin - con	sd	0	0	A															
sin - con - sin	0.0034012	10	0.0009854		B														
sin - con - con	0.0030649	10	0.0005984		B	C													
con - sin - sin	0.0027843	10	0.0004355		B	C	D												
con - con - sin	0.0023708	10	0.0007399			C	D												
sin - sin - sin	0.0023607	30	0.0009666			C	D												
con - sin - con	0.0022861	10	0.0006596			C	D												

con - con - con	0.0020091	10	0.0008837					D										
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - con - con	sd	0	0	A														
con - sin - sin	sd	0	0		B													
con - con - con	sd	0	0			C												
sin - sin - sin	0.0032124	10	0.0007903					D										
sin - sin - con	0.0030649	20	0.0006784					D	E									
con - con - sin	0.0025776	20	0.0004355					D	E	F								
sin - con - sin	0.0024551	20	0.0005986						E	F								
con - sin - con	0.0021476	20	0.0006596							F								
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.															
sin - con - con	sd	0	0	A														
con - sin - sin	sd	0	0		B													
con - con - con	sd	0	0			C												
sin - sin - sin	0.0032124	20	0.0007903					D										
con - con - sin	0.002886	10	0.0010122					D	E									
con - sin - con	0.002537	20	0.000921					D	E									
sin - sin - con	0.0022861	20	0.0009234						E									
sin - con - sin	0.0021467	20	0.0005986						E									
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.															
con - sin - sin - sin	sd	0	0	A														
sin - con - con - con	sd	0	0		B													
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C												
sin - sin - con - con	sd	0	0					D										
sin - sin - sin - con	sd	0	0						E									
con - con - sin - sin	sd	0	0							F								
con - sin - con - con	sd	0	0								G							
con - con - con - con	sd	0	0									H						
sin - con - con - sin	0.0034012	10	0.0009854										I					
sin - sin - sin - sin	0.0032124	20	0.0007903										I	J				
sin - con - sin - con	0.0030649	10	0.0005984										I	J				
con - sin - con - sin	0.0027843	10	0.0004355										I	J	K			
con - con - con - sin	0.0023708	10	0.0007399										I	J	K	L		
con - sin - sin - con	0.0022861	10	0.0006596											J	K	L		
con - con - sin - con	0.0020091	10	0.0008837												K	L		
sin - sin - con - sin	0.0015091	10	0.0005986															L

Anexo 65. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00034

Error: 0.0000 gl: 72

FE	Medias	n	E.E.
sin	2.7E-03	40	1.2E-04 A
con	2.5E-03	40	1.2E-04 A

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

Anexo 66. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00063

Error: 0.0000 gl: 72

HMA	FE	Medias	n	E.E.
sin	sin	3.3E-03	20	1.7E-04 A
con	con	2.6E-03	20	1.7E-04 B
sin	con	2.5E-03	20	1.7E-04 B
con	sin	2.1E-03	20	1.7E-04 B

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

Anexo 67. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00063

Error: 0.0000 gl: 72

Rizobacteria	FE	Medias	n	E.E.
sin	sin	2.9E-03	20	1.7E-04 A
con	con	2.9E-03	20	1.7E-04 A
con	sin	2.5E-03	20	1.7E-04 A B
sin	con	2.1E-03	20	1.7E-04 B

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

Anexo 68. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00098

Error: 0.0000 gl: 72

HMA	Rizobacteria	MKP	Medias	n	E.E.
sin	sin	con	sd 0	sd A	
sin	con	sin	3.4E-03	10	2.4E-04 B
sin	con	con	3.1E-03	10	2.4E-04 B C
con	sin	sin	2.8E-03	10	2.4E-04 B C D
sin	sin	sin	2.5E-03	20	1.7E-04 B C D
con	con	sin	2.4E-03	10	2.4E-04 C D
con	sin	con	2.3E-03	10	2.4E-04 C D
con	con	con	2.0E-03	10	2.4E-04 D

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

Anexo 69. Anova cuantificación del fósforo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de Fosforo	90	0.96	0.96	13.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.78	8	0.35	263.51	<0.0001
Tratamiento	2.78	8	0.35	263.51	<0.0001
Error	0.11	81	1.3E-03		
Total	2.89	89			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05180

Error: 0.0013 gl: 81

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
FE	0.48	10	0.01	A	
FE + HMA	0.47	10	0.01	A	
FE + Rizo	0.45	10	0.01	A	
FE + HMA + Rizo	0.44	10	0.01	A	
MKP + Rizo	0.15	10	0.01		B
MKP + HMA + Rizo	0.11	10	0.01		B C
MKP + HMA	0.10	10	0.01		B C
Control	0.10	10	0.01		B C
MKP	0.09	10	0.01		C

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

Anexo 70. Tabla de comparaciones cuantificación del fósforo

HMA	Medias	n	E.E.																
sin	0.29135	50	0.1756165	A															
con	0.27995	40	0.1824779	A															
R	Medias	n	E.E.																
con	0.285725	40	0.1633767	A															
sin	0.285575	50	0.1942909	A															
FE	Medias	n	E.E.																
con	0.460075	40	0.0499577	A															
sin	0.111225	50	0.0287791		B														
MKP	Medias	n	E.E.																
sin	0.387	60	0.1660687	A															
con	0.1167333	30	0.0299791		B														
HMA - R	Medias	n	E.E.																
sin - con	0.29695	20	0.1555723	A															
sin - sin	0.28575	30	0.1817243	A															
con - sin	0.2854	20	0.1824779	A															
con - con	0.2745	20	0.1700857	A															
HMA - FE	Medias	n	E.E.																

sin - con	0.4623	20	0.0499577	A																
con - con	0.45785	20	0.0560886	A																
sin - sin	0.1204	30	0.0323626		B															
con - sin	0.10205	20	0.16203		B															
HMA - MKP	Medias	n	E.E.																	
con - sin	0.45785	20	0.0560886	A																
sin - sin	0.3397667	40	0.1756217		B															
sin - con	0.1461	10	0.0038588			C														
con - con	0.10205	20	0.0123955				D													
R - FE	Medias	n	E.E.																	
sin - con	0.47505	20	0.0559486	A																
con - con	0.4451	20	0.0375871		B															
con - sin	0.12635	20	0.0342101			C														
sin - sin	0.0961	30	0.0055165				D													
R - MKP	Medias	n	E.E.																	
con - sin	0.4451	20	0.0375871	A																
sin - sin	0.3482667	30	0.1838762		B															
con - con	0.12635	20	0.0342101			C														
sin - con	0.0975	10	0.0038588			C														
FE - MKP	Medias	n	E.E.																	
con - con	sd	0	0	A																
con - sin	0.460075	40	0.0499577		B															
sin - con	0.1167333	40	0.0290791			C														
sin - sin	0.0947	20	0.0063883			C														
HMA - R - FE	Medias	n	E.E.																	
sin - sin - con	0.4768	10	0.0408456	A																
con - sin - con	0.4733	10	0.0677201	A																
sin - con - con	0.4478	10	0.0397814	A																
con - con - con	0.4424	10	0.0350491	A																
sin - con - sin	0.1461	10	0.0362145		B															
con - con - sin	0.1066	10	0.015781		B	C														
con - sin - sin	0.0975	10	0.0041049		B	C														
sin - sin - sin	0.0947	20	0.005883			C														
HMA - R - MKP	Medias	n	E.E.																	
sin - sin - con	sd	0	0	A																
con - sin - sin	0.4733	10	0.0677201		B															
sin - con - sin	0.4478	10	0.0397814		B															
con - con - sin	0.4424	10	0.0350491		B															
sin - sin - sin	0.28575	30	0.1838762			C														
sin - con - con	0.1461	10	0.0362145				D													

con - con - con	0.1066	10	0.015781				D	E						
con - sin - con	0.0975	10	0.0041049					E						
HMA - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
sin - con - con	sd	0	0	A										
con - sin - sin	sd	0	0		B									
con - con - con	sd	0	0			C								
sin - con - sin	0.4623	20	0.0408456				D							
con - con - sin	0.45785	20	0.0677201				D							
sin - sin - con	0.1461	10	0.0038588					E						
con - sin - con	0.10205	20	0.0123955						F					
sin - sin - sin	0.0947	20	0.0286273						F					
R - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
sin - con - con		0	0	A										
con - sin - sin		0	0		B									
con - con - con		0	0			C								
sin - con - sin	0.47505	20	0.0559486				D							
con - con - sin	0.4451	20	0.0375871				D							
con - sin - con	0.12635	20	0.0342101					E						
sin - sin - con	0.0975	20	0.0035888					E						
sin - sin - sin	0.0947	10	0.0063883					E						
HMA - R - FE - MKP	Medias	n	E.E.											
con -sin - sin - sin	sd	0	0	A										
sin - con - con - con	sd	0	0		B									
sin - con - sin - sin	sd	0	0			C								
sin - sin - con - con	sd	0	0				D							
sin - sin - sin - con	sd	0	0					E						
con - con - sin - sin	sd	0	0						F					
con - sin - con - con	sd	0	0							G				
con - con - con - con	sd	0	0								H			
sin - sin - con - sin	0.4768	10	0.0408456									I		
con - sin - con - sin	0.4733	10	0.0677201									I		
sin - con - con - sin	0.4478	20	0.0397814									I		
con - con - con - sin	0.4424	10	0.0350491									I		
sin - con - sin - con	0.1461	10	0.0362145										J	
con -con - sin - con	0.1066	10	0.015781										J	K
con - sin - sin - con	0.0975	10	0.0041049										J	K
sin - sin - sin - sin	0.0947	10	0.0063883											K

Anexo 71. Anova sinergia FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01715

Error: 0.0015 gl: 72

FE Medias n E.E.

con 0.46 40 0.01 A

sin 0.11 40 0.01 B

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

Anexo 72. Anova sinergia HMA – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03200

Error: 0.0015 gl: 72

HMA FE Medias n E.E.

sin con 0.46 20 0.01 A

con con 0.46 20 0.01 A

sin sin 0.12 20 0.01 B

con sin 0.10 20 0.01 B

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

Anexo 73. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03200

Error: 0.0015 gl: 72

Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin con 0.48 20 0.01 A

con con 0.45 20 0.01 A

con sin 0.13 20 0.01 B

sin sin 0.09 20 0.01 B

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

Anexo 74. Anova sinergia HMA – Rizobacteria DBA51 – FE

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05371

Error: 0.0015 gl: 72

HMA Rizobacteria FE Medias n E.E.

sin sin con 0.48 10 0.01 A

con sin con 0.47 10 0.01 A

sin con con 0.45 10 0.01 A

con con con 0.44 10 0.01 A

sin con sin 0.15 10 0.01 B

con con sin 0.11 10 0.01 B C

con sin sin 0.10 10 0.01 B C

sin sin sin 0.09 10 0.01 C

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

Anexo 75. Anova sinergia MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01771

Error: 0.0015 gl: 72

MKP Medias n E.E.

sin 0.39 50 0.01 A

con 0.12 30 0.01 B

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

Anexo 76. Anova sinergia HMA – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03456

Error: 0.0015 gl: 72

HMA MKP Medias n E.E.

con sin 0.46 20 0.01 A

sin sin 0.34 30 0.01 B

sin con 0.15 10 0.01 C

con con 0.10 20 0.01 D

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

Anexo 77. Anova sinergia Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03456

Error: 0.0015 gl: 72

Rizobacteria MKP Medias n E.E.

con sin 0.45 20 0.01 A

sin sin 0.35 30 0.01 B

con con 0.13 20 0.01 C

sin con 0.10 10 0.01 C

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

Anexo 78. Anova HMA – Rizobacteria DBA51 – MKP

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05029

Error: 0.0015 gl: 72

HMA Rizobacteria MKP Medias n E.E.

sin sin con sd 0 sd A

con sin sin 0.47 10 0.01 B

sin con sin 0.45 10 0.01 B

con con sin 0.44 10 0.01 B

sin sin sin 0.28 20 0.01 C

sin con con 0.15 10 0.01 D

con con con 0.11 10 0.01 D

con sin con 0.10 10 0.01 D

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

Anexo 79. Anova área enferma

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Area enferma	60	0.04	0.00	56.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.35	5	1.07	0.50	0.7775
Tratamientos	5.35	5	1.07	0.50	0.7775
Error	116.34	54	2.15		
Total	121.69	59			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.93939

Error: 2.1545 gl: 54

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Control + FHLGJ22	3.14	10	0.46 A
FE+HMA+FHLGJ22	2.82	10	0.46 A
FE+HMA+R+FHLGJ22	2.52	10	0.46 A
MKP+HMA+R+FHLGJ22	2.52	10	0.46 A
FE+R+FHLGJ22	2.51	10	0.46 A
MKP+R+FHLGJ22	2.18	10	0.46 A

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

Anexo 80. Anova AOC

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	32	0.34	0.14	26.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.00	7	0.14	1.75	0.1457
Tratamientos	1.00	7	0.14	1.75	0.1457
Error	1.97	24	0.08		
Total	2.97	31			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67638

Error: 0.0820 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
FE + HMA + FHLGJ22	1.34	4	0.14 A
FE + HMA + R + FHLGJ22	1.23	5	0.13 A
FE + R + FHLGJ22	1.14	4	0.14 A
MKP + HMA + R + FHLGJ22	1.07	4	0.14 A
MKP + HMA	1.04	4	0.14 A
Control	1.03	3	0.17 A
Control + FHLGJ22	0.84	4	0.14 A
MKP + R + FHLGJ22	0.78	4	0.14 A

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

Anexo 81. Anova PR1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	24	0.18	0.00	36.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.60	7	0.09	0.49	0.8258
Tratamientos	0.60	7	0.09	0.49	0.8258
Error	2.77	16	0.17		
Total	3.37	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.34412

Error: 0.1731 gl: 16

Tratamientos	Medias	n	E.E.
FE + R + FHLGJ22	1.39	5	0.19 A
FE + HMA + R + FHLGJ22	1.19	5	0.19 A
Control + FHLGJ22	1.18	2	0.29 A
MKP + R + FHLGJ22	1.14	1	0.42 A
FE + HMA + FHLGJ22	1.06	2	0.29 A
MKP + HMA + R + FHLGJ22	1.03	3	0.24 A
Control	0.99	4	0.21 A
MKP + HMA	0.88	2	0.29 A

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

Anexo 82. Anova ERPI1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	16	0.70	0.44	18.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.08	7	0.15	2.70	0.0936
Tratamientos	1.08	7	0.15	2.70	0.0936
Error	0.46	8	0.06		
Total	1.54	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.02226

Error: 0.0572 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.
MKP + HMA	1.91	2	0.17 A
FE + HMA + R + FHLGJ22	1.39	2	0.17 A
MKP + R + FHLGJ22	1.39	2	0.17 A
MKP + HMA + R + FHLGJ22	1.35	1	0.24 A
Control	1.29	3	0.14 A
FE + HMA + FHLGJ22	1.16	1	0.24 A
Control + FHLGJ22	1.16	2	0.17 A
FE + R + FHLGJ22	1.02	3	0.14 A

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

Anexo 83. Anova ACCO

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	17	0.77	0.58	52.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.66	7	0.95	4.20	0.0249
Tratamientos	6.66	7	0.95	4.20	0.0249
Error	2.04	9	0.23		
Total	8.70	16			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.78911

Error: 0.2264 gl: 9

Tratamientos	Medias	n	E.E.
MKP+DBA51+FHLGJ22	1.73	2	0.34 A
FE+HMA+FHLGJ22	1.46	2	0.34 A
FE+HMA+DBA51+FHLGJ22	1.38	2	0.34 A
MKP+HMA+DBA51+FHLGJ22	1.12	2	0.34 A
FE+DBA51+FHLGJ22	1.08	2	0.34 A
FHLGJ22	0.93	2	0.34 A
MKP + HMA	2.6E-03	2	0.34 A
Control	2.4E-03	3	0.27 A

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

Anexo 84. Anova PtoR1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	18	0.72	0.52	16.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.97	7	0.14	3.58	0.0337
Tratamientos	0.97	7	0.14	3.58	0.0337
Error	0.39	10	0.04		
Total	1.36	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.73890

Error: 0.0388 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
FE+HMA+DBA51+FHLGJ22	1.69	2	0.14 A
FE+HMA+FHLGJ22	1.51	2	0.14 A
MKP+HMA+DBA51+FHLGJ22	1.23	2	0.14 A
MKP + HMA	1.11	2	0.14 A
FE+DBA51+FHLGJ22	1.08	3	0.11 A
FHLGJ22	1.08	3	0.11 A
MKP+DBA51+FHLGJ22	1.04	1	0.20 A
Control	0.96	3	0.11 A

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

Anexo 85. Anova SOD

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Expresion relativa	21	0.07	0.00	28.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	7	0.01	0.14	0.9930
Tratamientos	0.08	7	0.01	0.14	0.9930
Error	1.08	13	0.08		
Total	1.16	20			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.91605

Error: 0.0832 gl: 13

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
MKP+DBA51+FHLGJ22	1.13	3	0.17	A
FE+HMA+DBA51+FHLGJ22	1.07	3	0.17	A
FHLGJ22	1.03	3	0.17	A
FE+HMA+FHLGJ22	1.00	2	0.20	A
MKP + HMA	0.99	2	0.20	A
FE+DBA51+FHLGJ22	0.97	2	0.20	A
Control	0.95	3	0.17	A
MKP+HMA+DBA51+FHLGJ22	0.95	3	0.17	A

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