

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA OPCIÓN: TERMINAL AGRÍCOLA

**Hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos
ácidos asociados con maíz, como promotores de
crecimiento y bioprotección contra *Phyllophaga* spp.**

**Trabajo de tesis que como requisito para obtener el grado de:
MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

Presenta

ING. ALEJANDRO HUERTA RAMÍREZ

Director

DR. LUIS LÓPEZ PÉREZ (UMSNH)

Co-director

DR. JHONY NAVAT ENRÍQUEZ VARA (CIATEJ)

Morelia, Michoacán, Mayo de 2019



El trabajo de esta tesis de investigación de maestría formó parte del proyecto intitulado:

“Empleo de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la Agro-Biotecnología Vegetal”

Líderes del proyecto: Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar

Dr. Gabriel Rincón Enríquez

Igualmente, este trabajo contó con apoyo del proyecto 293362 (CONACyT) del Laboratorio Nacional PLANTECC.

Líderes del proyecto: Dr. Gabriel Rincón Enríquez (CIATEJ) y Dr. Axel Tiessen Favier (CINVESTAV-IPN).

Programa de Investigación de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH 2017 y 2018 bajo el proyecto Extracción, identificación, propagación y evaluación de hongos micorrízicos arbusculares autóctonos de maíz en el municipio de Epatitlán, Michoacán.

Líder del Proyecto: Dr. Luis López Pérez. Colaboradores: Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar. Dr. Gabriel Rincón Enríquez.

La presente investigación de maestría se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás De Hidalgo y el Laboratorio de Fitopatología de la Unidad de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco A. C. bajo la co-dirección del Dr. Luis López Pérez y el Dr. Jhony Navat Enríquez Vara así como la asesoría de la Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar, Dra. Cecilia Guízar González, Dr. Gabriel Rincón Enríquez, Dr. Philippe Lobit y la M.C. Nuria Gómez-Dorantes.

De los resultados de esta tesis se han publicado y presentado en foros académicos los siguientes trabajos:

Trabajos presentados en foros académicos:

1ra Feria Internacional del Maíz Irapuato Gto.

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez-Vara, C. Guízar-González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, P. Lobit, N. Gómez-Dorantes y L. López-Pérez. **2018.** interaccion de hongos micorrízicos arbusculares y gallina ciega en plantas de maíz. 1ra Feria Internacional del Maíz Guanajuato. 9 al 10 de Agosto, Irapuato Gto. México. (CARTEL).

V Simposio Nacional de Herramientas de Biotecnología para una Agricultura Sustentable

Huerta Ramírez A., J. N. Enríquez Vara, C. Guízar González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, N. Gómez Dorantes, P. Lobit, L. López Pérez. 2018. Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en maíz criollo. V Simposio Nacional de Herramientas de Biotecnología para una Agricultura Sustentable. Zapopán, Jalisco, México; 3 al 5 de octubre. Presentación en Cartel.

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez Vara, C. Guízar González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, N. Gómez Dorantes, P. Lobit, L. López Pérez. 2018. Presencia de hongos entomopatógenos nativos en suelos del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. V Simposio Nacional de Herramientas de Biotecnología para una Agricultura Sustentable. Zapopán, Jalisco, México; 3 al 5 de octubre. Presentación en Oral.

LIII Congreso Nacional de Entomología

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez-Vara, C. Guízar-González, P. Lobit, N. Gómez-Dorantes, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar y L. López-Pérez. 2018. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en maíz ante el ataque de gallina ciega. LIII Congreso Nacional de Entomología Zapopan, Jalisco. 17-20 de junio de 2018. Presentación en Cartel.

XI Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe (XI SIRGEAC)

Huerta-Ramírez A., Enríquez-Vara J. N., Rincón-Enríquez G., Quiñones-Aguilar E. E., Guizar-González C., Lobit P., Gómez-Dorantes N. y López-Pérez L. 2017 Abundancia de esporas de hongos micorrízicos en parcelas con diferentes prácticas agrícolas en el municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. XI Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe, Guadalajara Jal. Mex. 15-18 de octubre de 2017. Presentación Oral.

Publicaciones sometidas o publicadas en revistas científicas:

Revista Biotecnología y Sustentabilidad (ISSN: 2448-7562 (revista impresa)) (<http://cienciasbiologicas.uaz.edu.mx/web/bas>).

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez Vara, C. Guízar González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, N. Gómez Dorantes, P. Lobit, L. López Pérez. 2018. Presencia de hongos entomopatógenos nativos en suelos del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. Revista Biotecnología y Sustentabilidad Vol. 3, Núm. 2 (2018):68.

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez Vara, C. Guízar González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, N. Gómez Dorantes, P. Lobit, L. López Pérez. 2018. Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en maíz criollo. Revista Biotecnología y Sustentabilidad 3(suplemento): 33.

Huerta-Ramírez A., J. N. Enríquez Vara, C. Guízar González, **G. Rincón-Enríquez**, E. E. Quiñones-Aguilar, N. Gómez Dorantes, P. Lobit, L. López Pérez. 2018. Presencia de hongos entomopatógenos nativos en suelos del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. Revista Biotecnología y Sustentabilidad 3(suplemento): 77.

Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe

Huerta-Ramírez A., Enríquez-Vara J. N., **Rincón-Enríquez G.**, Quiñones-Aguilar E. E., Guizar-González C., Lobit P., Gómez-Dorantes N. y López-Pérez L. **2018** Abundancia de esporas de hongos micorrízicos en parcelas con diferentes prácticas agrícolas en el municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe. Año 1, Vol. 1: 948-951. (ISSN: 2594-2042). https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=1080.

Publicaciones científicas en elaboración:

Diversidad de especies de hongos micorrízicos asociados a maíz en suelos ácidos en el oriente de Michoacán.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia.

A mis padres **Víctor Manuel Huerta Cerna y Juana Ramírez Pedraza** por su esfuerzo constante en la motivación e incentivar con su ejemplo mi camino, por su infinito e incondicional amor que siempre los ha hecho creer en mí.

A mis hijos **Alondra Yuneidi, Jesús Alejandro, Magaly Isabel y Julia Carolina** quienes son mi motivación para buscar superarme constantemente y vean en mí un ejemplo para ellos.

A mi esposa **Leticia Graciela Chávez Ballinas**, quien de alguna forma siempre tiene las palabras adecuadas para impulsarme, que con su amor, paciencia, tiempo y sacrificios, fue parte fundamental para que este trabajo se viera realizado, siempre estuviste motivándome y a mi lado hasta en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme vida y tiempo para poder terminar mis estudios de maestría.

A la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**, en especial al **Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales** y el **programa de Maestría en Producción Agropecuaria**.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al **Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)**, por recibirme durante mi estancia y facilitarme lo necesario para el cumplimiento de actividades relacionadas a este proyecto.

A mis directores de tesis, **Dr. Luis López Pérez** y **Dr. Jhony Navat Enríquez Vara** por el apoyo y conocimientos brindados para la realización del presente trabajo de investigación, por su valioso acompañamiento y la asesoría brindada, así como la confianza depositada en mi persona para la realización de este proyecto.

A los investigadores que complementan mi comité revisor y de sinodales **Dra. Cecilia Guízar González**, **M. C. Nuria Gómez Dorantes** y **Dr. Phillip Lobit**, quienes con sus aportaciones y sugerencias contribuyeron para el mejoramiento de este trabajo y de mi persona, gracias por el tiempo dedicado para la culminación de este proyecto.

A la **Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar** y al **Dr. Gabriel Rincón Enríquez** por aportar sus valiosos conocimientos en el fortalecimiento y desarrollo de este trabajo de investigación y sus aportaciones para la culminación de este trabajo.

A la **Dra. Laura Verónica Hernández Cuevas**, por el apoyo en la identificación de las especies de los hongos micorrízicos arbusculares.

A mis compañeros y amigos del IIAF **Dr. Mauricio Perea Peña, Dr. Ernesto Encarnación Bobadilla Soto, M.P.A. Fernando Ochoa Ambriz** por su apoyo en todos los sentidos durante este proceso.

A mis compañeros de generación **Susana y Cuauhtémoc** por su apoyo en los trabajos realizados durante este proyecto.

A mis profesores por aportar su experiencia y conocimientos y a todos aquellos de alguna forma u otra forman parte de la culminación de este proceso de desarrollo profesional en mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN GENERAL	xiv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. ANTECEDENTES	6
4.1 Micorrizas	6
4.1.1 Micorrizas arbusculares	8
4.2 Resistencia sistémica	9
4.3 Factores que modifican las poblaciones y concentraciones de HMA en el suelo	11
4.4 Hongos micorrízicos arbusculares nativos	13
4.5 Los suelos ácidos como factor limitante para la producción de maíz	13
4.6 Complejo gallina ciega como limitante de producción de maíz	14
V. RESULTADOS	16
5.1 Colecta, cuantificación, propagación e identificación de hongos micorrízicos arbusculares	16
5.1.1 Resumen	16
5.1.2 Abstract	17
5.1.3 Introducción	17
5.1.4 Materiales y métodos	18
5.1.4.1 Sitios de muestreo	18
5.1.4.2 Condiciones agronómicas de los sitios muestreados	22
5.1.4.3 Muestreo de suelos	22
5.1.4.4 Aislamiento y cuantificación de esporas de HMA	23
5.1.4.5 Propagación de HMA en macetas trampa	23

5.1.4.6 Identificación de los HMA	24
5.1.5 Resultados y discusión	25
5.1.5.1. Condiciones fisicoquímicas de los sitios	25
5.1.5.2 Cuantificación de esporas en suelos colectados	26
5.1.5.3 Propagación de esporas en macetas trampa	28
5.1.5.4 Especies de HMA	29
5.1.6 Conclusiones	32
5.1.7 Literatura citada	33
5.2 Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en maíz ante el ataque de gallina ciega	35
5.2.1 Resumen	35
5.2.2 Abstract	35
5.2.3 Introducción	36
5.2.4 Materiales y métodos	37
5.2.4.1 Ubicación del experimento	37
5.2.4.2 Hongos micorrízicos arbusculares	37
5.2.4.3 colecta de insectos	38
5.2.4.4 Sustrato y material vegetal	38
5.2.4.5 Variables de crecimiento vegetal y biomasa de insectos	39
5.2.4.6 Diseño experimental y análisis estadístico de datos	39
5.2.4.7 Ensayo para evaluar la rizofagia de <i>Phyllophaga</i>	39
5.2.5 Resultados y discusión	40
5.2.6 Conclusiones	43
5.2.7 Literatura citada	44
5.3 Uso de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares como promotores de crecimiento en plantas de maíz	46
5.3.1 Resumen	46
5.3.2 Abstract	46
5.3.3 Introducción	47
5.3.4 Materiales y métodos	48
5.3.4.1 Material vegetal	48

5.3.4.2 Inóculos de HMA	49
5.3.4.3 Sustrato	49
5.3.4.4 Diseño experimental	49
5.3.4.5 Establecimiento del experimento	50
5.3.4.6 Variables evaluadas	50
5.3.5 Resultados y discusión	51
5.3.6 Conclusiones	69
5.3.7 Literatura citada	70
5.4. Interacción de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares y gallina ciega en plantas de maíz	74
5.4.1 Resumen	74
5.4.2 Abstract	74
5.4.3 Introducción	75
5.4.4 Materiales y métodos	76
5.4.4.1 Material vegetal	76
5.4.4.2 Inóculos de HMA	77
5.4.4.3 Larvas de <i>Phyllophaga</i> spp.	77
5.4.4.4 Diseño experimental	77
5.4.4.5 Establecimiento del experimento	77
5.4.4.6 Variables evaluadas	78
5.4.4.7 Análisis estadístico	78
5.4.5 Resultados y discusión	78
5.4.6 Conclusiones	97
5.4.7 Literatura citada	98
CONCLUSION GENERAL	100
VI. RECOMENDACIONES	101
VII. LITERATURA COMPLEMENTARIA	103
VIII. ANEXOS	112

CONTENIDO DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de los hongos micorrízicos arbusculares (Schubler y Walker, 2010).	7
Cuadro 2. Condiciones químicas de los suelos.	26
Cuadro 3. Especies de HMA aisladas a partir de sustrato de macetas trampa, de inóculos provenientes de la región maicera de Epitacio Huerta, Michoacán.	30
Cuadro 4. Análisis factorial de altura de planta y diámetro de tallo a los 61 DDT.	52
Cuadro 5. Análisis factorial de área foliar, volumen de raíz, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz a los 61 DDT.	59
Cuadro 6. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz criollo a los 61 DDT.	60
Cuadro 7. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz híbrido a los 61 DDT.	63
Cuadro 8. Análisis factorial y de interacción de No. de esporas en 100 g ⁻¹ de sustrato y Colonización micorrízica (%) a los 61 DDT.	66
Cuadro 9. Análisis factorial de altura de planta y diámetro de tallo a los 61 DDT.	81
Cuadro 10. Análisis factorial de área foliar, volumen de raíz, pesos secos y frescos a los 61 DDT.	87
Cuadro 11. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz criollo a los 61 DDT.	92
Cuadro 12. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz híbrido a los 61 DDT.	93
Cuadro 13. Análisis factorial de No. de esporas y colonización micorrízica a los 61 DDT.	94

CONTENIDO DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Principales estructuras de una asociación micorrízica arbúscular.	9
Figura 2. Predio El Anteojo en la localidad de Tejocote Polvillas municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.	19
Figura 3. Predio La Ciénega en la localidad de Tejocote Polvillas municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.	20
Figura 4. Predio El Llano en la localidad de Dolores municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.	20
Figura 5. Predio Cecytem en la localidad de Epitacio Huerta municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.	21
Figura 6. Predio El Secano en la localidad de Santa Cruz Ojo de Agua municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.	22
Figura 7. Cantidad de esporas nativas en suelos.	27
Figura 8. Concentración de esporas en reproducción por macetas trampa.	29
Figura 9. Porcentaje de esporas de hongos micorrízicos presentes en suelos de la región maicera de Epitacio Huerta, Michoacán.	31
Figura 10. Dinámica de la altura de plantas de maíz con y sin micorriza.	40
Figura 11. Peso seco aéreo a los 56 días después del trasplante.	41
Figura 12. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT para la interacción de los factores Maíz-MC.	53

Figura 13. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT para la interacción de los factores Maíz-HMA.	54
Figura 14. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) en maíz criollo a los 61 DDT.	56
Figura 15. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) en maíz híbrido a los 61 DDT.	57
Figura 16. Peso seco de hojas en maíz criollo a los 61 DDT.	61
Figura 17. Peso seco de tallo en maíz criollo a los 61 DDT.	62
Figura 18. Área foliar en maíz híbrido a los 61 DDT.	64
Figura 19. Peso Seco de Tallo en maíz híbrido a los 61 DDT.	64
Figura 20. Peso Seco de Raíz en maíz híbrido a los 61 DDT.	65
Figura 21. Colonización de HMA en raíces de maíz a los 61 DDT.	67
Figura 22. Número de esporas en 100 g-1 de sustrato o suelo a los 61 DDT.	68
Figura 23. Colonización micorrízica (%) a los 61 DDT.	69
Figura 24. Número de larvas muertas en maíz Criollo “Blanco” (a) y maíz híbrido (b).	79
Figura 25. Biomasa de larvas en maíz criollo “Blanco”.	80
Figura 26. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT para el factor cultivar de maíz.	82
Figura 27. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT para el factor HMA.	83

Figura 28. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT para la interacción de los factores cultivar de maíz y HMA.	84
Figura 29. Altura de planta (a) y Diámetro de tallo (b) de maíz criollo a los 61 DDT.	85
Figura 30. Altura de planta (a) y Diámetro de tallo de maíz híbrido a los 61 DDT.	86
Figura 31. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Hojas de maíz criollo a los 61 días después del trasplante.	88
Figura 32. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Tallo de maíz criollo a los 61 días después del trasplante.	89
Figura 33. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Raíz de maíz criollo a los 61 días después del trasplante.	90
Figura 34. Área Foliar (a) y Volumen de raíz (b) de plantas de maíz criollo a los 61 días después del trasplante.	91
Figura 35. Colonización micorrízica en raíces de plantas de maíz a los 61 DDT1.	95
Figura 36. No. de esporas en 100 g-1 de sustrato a los 61 días después del trasplante.	96
Figura 37. Colonización micorrízica (%) a los 61 días después del trasplante.	97

Hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos ácidos asociados con maíz, como promotores de crecimiento y bioprotección contra *Phyllophaga* spp.

Alejandro Huerta Ramírez

RESUMEN GENERAL

La condición de extrema acidez de los suelos y la presencia de gallina ciega disminuye los rendimientos en la producción de maíz, las estrategias empleadas para resolver estos problemas implican aumentos en los costos de producción y afectaciones de tipo ecológico y en la salud humana. Debido a esto se requiere la búsqueda de alternativas amigables al medio ambiente, inocuas y económicas que resuelvan o mitiguen los problemas de acidez de los suelos y el daño ocasionado por gallina ciega. La simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares mejora la nutrición de las plantas en suelos ácidos de baja fertilidad, inducen la respuesta sistémica en la planta que le confiere resistencia a plagas y enfermedades. Los consorcios de hongos micorrízicos nativos tienen una posibilidad mayor de éxito en la sobrevivencia y colonización de raíces que los productos a base de inóculos no nativos o monoespecíficos, por estar adaptados a las condiciones edáficas y climáticas. Los beneficios de la simbiosis micorrízica dependen también de las combinaciones de especies entre planta huésped y hongos micorrízicos y el ambiente en que se desarrolla esta simbiosis. En el presente trabajo se estudiaron la diversidad y concentración de poblaciones de hongos micorrízicos, su relación con las prácticas agrícolas, el potencial de éstas poblaciones como promotoras de crecimiento y su efecto bioprotector contra la gallina ciega en plantas de maíz criollo e híbrido. Los resultados mostraron diferencias en la cantidad de esporas en función de la práctica agrícola realizada en los suelos. Así mismo, se encontró una correlación positiva significativa entre la concentración de potasio en el suelo y la densidad de esporas y una correlación negativa significativa entre la densidad de esporas y la concentración de fósforo. Se observó una diferencia en promoción de crecimiento por los HMA nativos, a los 61 días después del trasplante pero esta diferencia fue en función del cultivar de maíz (criollo e híbrido) y el medio de crecimiento (sustrato y suelo). Las plantas de maíz criollo crecieron más que las

plantas de maíz híbrido. El crecimiento de las plantas de ambos maíces fue mayor cuando se cultivaron en suelo que en sustrato. En sustrato, las respuestas en las variables de crecimientos fueron similares en ambos cultivares de maíz tanto en plantas inoculadas y sin inocular. Las plantas de maíz criollo sin HMA cultivadas en sustrato, presentaron valores superiores de crecimiento que las plantas inoculadas. En maíz criollo sin HMA cultivado en suelo, las plantas sin HMA presentaron los valores más bajos en las variables de crecimiento. El consorcio micorrízico “El Llano”, alcanzó porcentajes de colonización superiores al 90 % y 80 % en suelo y sustrato respectivamente en ambos cultivares. La micorrización de las plantas de maíz, no afectó la rizofagia de *Phyllophaga* spp. Los consorcios nativos de HMA y presencia de larvas disminuyeron el crecimiento de las plantas de maíz, es muy probable que se deba al gasto energético de la simbiosis micorrízica y la rizofagia de las larvas. La ausencia o presencia de larvas no afectó las variables microbiológicas: número de esporas y porcentaje de micorrización. Con base en los resultados obtenidos se concluye que bajo las condiciones experimentales empleadas en este trabajo, la micorrización de las plantas de maíz híbrido o criollo con HMA, no promovió el crecimiento de las mismas y tampoco bioprotección contra gallina ciega en relación al inóculo comercial monoespecífico.

Palabras clave: *Glomeromycota*, *Scarabaeoidea*, *Zea mays* L., Control biológico, Rizofagia.

Dr. Luis López Pérez
Dr. Jhony Navat Enríquez Vara
Ing. Alejandro Huerta Ramírez

lexquilax@yahoo.com.mx
jenriquez@ciatej.mx
alhura9@gmail.com

Arbuscular mycorrhizal fungi native to acid soils associated with maize, as growth promoters and bioprotection against *Phyllophaga* spp.

Alejandro Huerta Ramírez

ABSTRACT

The condition of extreme acidity of the soils and the presence of blind hen diminish the yields in the production of corn, the strategies used to solve these problems imply increases in the production costs and damages of ecological type and in the human health. Due to this, the search for environmentally friendly, innocuous and economic alternatives that resolve or mitigate the acidity problems of the soils and the damage caused by blind chicken is required. The symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutrition of plants in acid soils of low fertility; induce the systemic response in the plant that confers resistance to pests and diseases. The consortia of native mycorrhizal fungi have a greater chance of success in the survival and colonization of roots than the products based on non-native or monospecific inocula, because they are adapted to edaphic and climatic conditions. The benefits of mycorrhizal symbiosis also depend on the combinations of species between host plant and mycorrhizal fungi and the environment in which this symbiosis develops. In the present work, the diversity and concentration of mycorrhizal fungi populations, their relationship with agricultural practices, the potential of these populations as growth promoters and their bioprotective effect against the blind hen in creole and hybrid maize plants were studied. The results showed differences in the amount of spores according to the agricultural practice carried out in the soils. Likewise, a significant positive correlation was found between soil potassium concentration and spore density and a significant negative correlation between spore density and phosphorus concentration. A difference in growth promotion was observed by native AMF, at 61 days after transplantation but this difference was a function of the maize cultivar (creole and hybrid) and the growth medium (substrate and soil). Creole corn plants grew more than hybrid corn plants. The growth of the plants of both maize was higher when they were cultivated in soil than in substrate. In substrate, the responses in the growth variables were similar in both maize cultivars in both inoculated and non-inoculated

plants. The non-AMF Creole maize plants grown on substrate showed higher growth values than the inoculated plants. In non-AMF creole maize grown in soil, plants without AMF showed the lowest values in the growth variables. The mycorrhizal consortium "El Llano" reached colonization percentages over 90% and 80% in soil and substrate respectively in both cultivars. The mycorrhization of the corn plants did not affect the rhizophagy of *Phyllophaga* spp. The native consortia of AMF and presence of larvae decreased the growth of corn plants; it is very likely that it is due to the energy expenditure of the mycorrhizal symbiosis and the rhizophagia of the larvae. The absence or presence of larvae did not affect the microbiological variables: number of spores and percentage of mycorrhization. Based on the results obtained, it is concluded that under the experimental conditions used in this work, the mycorrhization of the hybrid or creole maize plants with AMF, did not promote the growth of the same or bioprotection against blind hen in relation to the commercial mono-specific inoculum.

Index words: *Glomomerycota*, *Scarabaeoidea*, *Zea mays* L., Biological control, Rhizophagia.

Dr. Luis López Pérez
Dr. Jhony Navat Enríquez Vara
Ing. Alejandro Huerta Ramírez

lexquilax@yahoo.com.mx
jenriquez@ciatej.mx
alhura9@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es la especie vegetal cultivada con más amplia distribución en México. Es de gran importancia en el suministro alimentario familiar y posee alto valor cultural al estar ligado a la cosmovisión de los pueblos indígenas (Ayala-Sánchez *et al.* 2009). En el estado de Michoacán en el año 2017 la superficie cosechada de maíz fue de 452, 583.13 hectáreas con un rendimiento promedio de 4.22 toneladas por hectárea. La producción total de maíz en el estado fue de 1, 911,238.75 toneladas y se comercializaron a un precio medio rural promedio de \$3,504.02 (SIAP, 2018).

En el municipio de Epitacio Huerta la producción de maíz en el año 2017 fue de 38, 249.18 toneladas. La venta de este producto produjo un total de \$129, 810, 390.00 que lo posicionó como el producto agrícola de mayor importancia en la región.

El cultivo de maíz en este municipio presenta dos grandes problemas que afectan el rendimiento. Uno de ellos es la condición de acidez de sus suelos que dificulta la absorción de nutrientes. Para corregir la acidez en los suelos de Epitacio Huerta, normalmente se realizan aplicaciones de hidróxido de calcio, que es el producto de mayor empleo para la modificación del pH del suelo. Su aplicación tiene una repercusión en la microbiota del suelo aumentando el número de bacterias y actinomicetos así como la actividad microbiana e incrementa el costo de producción del cultivo.

El otro problema en la producción de maíz es la presencia de plagas rizófagas. La producción puede ser afectada entre el 15 y 20 % por larvas de los escarabajos de la familia Melolonthidae, comúnmente llamadas “gallinas ciegas” (Morón 1997, Villalobos 1999). En México, se estima que por lo menos veinte especies de gallina ciega del género *Phyllophaga* son consideradas plagas rizófagas del maíz (Morón 1997). A pesar de que existen insecticidas para el control de estos insectos rizófagos, la efectividad ha sido parcial y se han documentado casos de

resistencia (Loera-Gallardo et al. 2010), por lo que una alternativa es el uso de hongos micorrízicos arbusculares (Johnson y Rasmann, 2015; Toro et al., 2008).

Las micorrizas son la unión simbiótica entre hongos micorrízicos y las raíces de las plantas y son de gran importancia en los sistemas agrícolas (Gosling *et al.*, 2006). Las micorrizas confieren beneficios como estimulación del crecimiento, incrementan la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, tolerancia a estrés biótico y abiótico, y contribuye a mejorar la estructura del suelo (Bethlenfalvay y Linderman, 1992; Pineda *et al.*, 2010; Johnson y Rasmann, 2015).

Dentro de estos hongos formadores de micorrizas encontramos a los hongos micorrízicos arbusculares que forman uniones simbióticas con las raíces del 80 % de las especies vegetales (Schübler *et al.*, 2001).

Los productos comerciales a base de hongos micorrízicos arbusculares utilizan cepas no nativas o inóculos con una sola especie. Esto representa una desventaja por la especificidad entre especies de HMA y vegetales para formar micorrizas (Sharma *et al.*, 2009; Quiñones *et al.*, 2016). Se desconoce el posible impacto que ocasionaría la inoculación del suelo con esporas de HMA no nativas sobre las nativas en la zona de estudio.

Las cepas nativas de hongos micorrízicos poseen mayores posibilidades de éxito en la colonización de raíces y sobrevivencia de esporas en el campo, por estar adaptados a las condiciones del suelo de cada región (Armenta *et al.*, 2010; Quiñones *et al.*, 2016). Se recomienda el empleo de consorcios micorrízicos nativos y de composición mixta para no alterar la diversidad de las poblaciones existentes en el suelo por el uso de microorganismos introducidos (Sharma *et al.*, 2009).

Por lo anterior, en esta investigación se evaluó la diversidad de HMA presentes en diferentes localidades del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán en predios donde se cultiva maíz. Se evaluó el potencial de los consorcios micorrízicos nativos propagados en cultivos trampa, como coadyuvantes en la fertilización y

bioprotección contra gallina ciega en plantas de maíz cultivados en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.

Caracterizar y evaluar el potencial biológico (promoción del crecimiento y bioprotección contra gallina ciega) de hongos micorrízicos nativos del cultivo del maíz del municipio de Epatacio Huerta, Michoacán.

2.2. Objetivos específicos.

- Aislar y cuantificar las esporas de los HMA presentes en distintos sitios de la región maicera de Epatacio Huerta, Michoacán.
- Propagar los consorcios de HMA en macetas trampa.
- Caracterizar morfológicamente las distintas especies de HMA encontradas en los diferentes sitios de estudio.
- Evaluar el efecto promotor de crecimiento vegetal de cada uno de los consorcios de HMA en plantas de maíz en condiciones de invernadero.
- Evaluar el efecto de la interacción HMA - raíz en la rizofagia de la gallina ciega.

III. Hipótesis

Los consorcios nativos de HMA de suelos de la región maicera de Epitacio Huerta, presentarán una mayor promoción de crecimiento y bioprotección contra los daños por gallina ciega en maíces criollos e híbridos que si se emplea un inóculo monoespecífico en plantas de maíz bajo condiciones de invernadero

IV. ANTECEDENTES

4.1. Micorrizas

Una gran diversidad de microorganismos benéficos contenidos en el suelo han sido introducidos en diversos sistemas agrícolas (Antoun y Prévost, 2005). La integración de microorganismos benéficos puede propiciar un cambio en el balance de las comunidades hacia una estructura poblacional que favorece el incremento de la salud de las plantas y su productividad (Vassilev *et al.*, 2006). Entre las interacciones más importantes planta-microorganismo se encuentra la simbiosis micorrízica arbúscular (Smith y Read, 1997).

La palabra micorriza (del griego *mikos*, hongo, y *rhiza*, raíz) describe la asociación simbiótica que se establece entre determinados hongos del suelo y las plantas. Este término fue utilizado por primera vez por Bernhard Frank en 1885, pero fue hasta el siglo XX cuando se instituye el concepto y la importancia de estas asociaciones y su presencia en los sistemas suelo-planta (Barea y Jeffries, 1995). Las micorrizas son consideradas en general, simbiosis de carácter mutualista. El hongo le proporciona a la planta nutrientes minerales y agua procedentes del suelo y a cambio, la planta le cede al hongo hidratos de carbono derivados de la fotosíntesis.

Las micorrizas se clasifican de manera muy general en tres grupos: Ectomicorrizas, Ectoendomicorrizas y Endomicorrizas (Carballar, 2009). En las endomicorrizas las hifas del hongo se propagan a través de las raíces y penetran las células corticales sin llegar a colonizar el endoderma, ni producir modificaciones morfológicas evidentes en las plantas hospedantes; es el grupo más difundido en el planeta (Smith y Read, 2008) y está dividido en varios subtipos, de los cuales el de mayor distribución es el arbúscular (Ferrer y Herrera, 1988). La clasificación taxonómica de los HMA se basa en características específicas de la estructura subcelular de las esporas (Morton y Bentivenga,

1994). Schubler (2010) clasificó los HMA en dieciocho géneros y aproximadamente 193 especies descritas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de los hongos micorrízicos arbusculares (Schubler y Walker, 2010).

	Órdenes	Familias	Géneros
Phylum: <i>Glomerycota</i> Clase: <i>Glomeromycetes</i>	<i>Glomerales</i>	<i>Glomeraceae</i>	<i>Glomus</i> , <i>Funnelformis</i> , <i>Rhizophagus</i> , <i>Sclerocystis</i>
		<i>Claroideoglomeraceae</i>	<i>Claroideoglomus</i>
		<i>Gigasporaceae</i>	<i>Gigaspora</i> , <i>Scutellospora</i> , <i>Racocetra</i>
	<i>Diversisporales</i>	<i>Acaulosporaceae</i>	<i>Acaulospora</i>
		<i>Entrophosporaceae</i>	<i>Entrophospora</i>
		<i>Pacisporaceae</i>	<i>Pacispora</i>
		<i>Diversisporaceae</i>	<i>Diversispora</i> , <i>Otospora</i> , <i>Redeckera</i>
	<i>Paraglomerales</i>	<i>Paraglomeraceae</i>	<i>Paraglomus</i>
		<i>Geosiphonaceae</i>	<i>Geosiphon</i>
	<i>Arcaeosporales</i>	<i>Ambisporaceae</i>	<i>Ambispora</i>
		<i>Archaeosporaceae</i>	<i>Archaeospora</i>

A pesar de la escasa información reportada sobre la riqueza de los HMA existente en ecosistemas naturales y de manejo, existen evidencias de que ésta podría ser mayor a la reportada (Opik *et al.* 2008). Se estima que en total en el mundo

pueden existir alrededor de 1,250 especies, incluyendo las ya reportadas y las desconocidas (Borstler *et al.* 2006).

4.1.1. Micorrizas arbusculares

La micorriza arbuscular es la simbiosis que se produce entre hongos del Phylum *Glomeromycota* y las raíces del 80 % de las especies vegetales, se presenta ampliamente de forma natural y proporciona diversos beneficios a la planta hospedante (Gosling *et al.*, 2006), entre estos se encuentran: estimulación del crecimiento, resistencia al ataque de plagas y enfermedades y la tolerancia al estrés hídrico aunado a que contribuyen al mejoramiento de suelos degradados (Bethlenfalvay y Linderman, 1992). Se considera que el 80 % de las plantas vasculares son capaces de formar micorrizas arbusculares (Trappe, 1987), a excepción de algunos taxones vegetales, como son las familias *Brassicaceae*, *Fumariaceae*, *Urticaceae*, *Poligonaceae* y *Quenopodiaceae* (Wang y Qiu, 2006). Los HMA presentan una distribución influenciada más por las condiciones ambientales que por una especificidad de la relación hongo-planta, aunque las plantas influyan localmente en su distribución. Existen hongos ubiquistas que se encuentran en diversas condiciones de climas y suelo, algunas especies de glomales se encuentran distribuidas en todo el mundo y están adaptadas a diversos hábitats, no obstante, es evidente que los factores físicos y químicos del suelo pueden restringir su distribución (Varela y Trejo, 2001).

Los hongos formadores de MA son simbioses obligados, dependen de la planta hospedadora para completar su ciclo de vida (Smith y Read, 2008). La mayoría de las especies de HMA forman esporas en el suelo capaces de germinar en ausencia de las señales derivadas de la planta huésped (Giovannetti, 2000). Las esporas germinan y crecen en respuesta a diferentes condiciones ambientales y edáficas, pero presentan la incapacidad de extender su micelio y completar su ciclo de vida si no establecen una relación funcional con la planta huésped (Fernández, 2003). Las esporas resisten condiciones adversas en el suelo, germinando cuando las condiciones son favorables. El tubo germinativo crece a

través del suelo y puede eventualmente hacer contacto con las raíces de un hospedante apropiado (Azcón y Barea, 1980; Rhodes y Gedermann, 1980). Al colonizar las células corticales de la raíz de la planta hospedante, el hongo invagina el plasmalema de la célula vegetal y produce una estructura profusamente ramificada llamada arbúsculo, que es el sitio de intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta (Fig. 1). La formación de esta estructura es una característica común de todos los hongos micorrízicos arbusculares (Varela y Trejo, 2001).

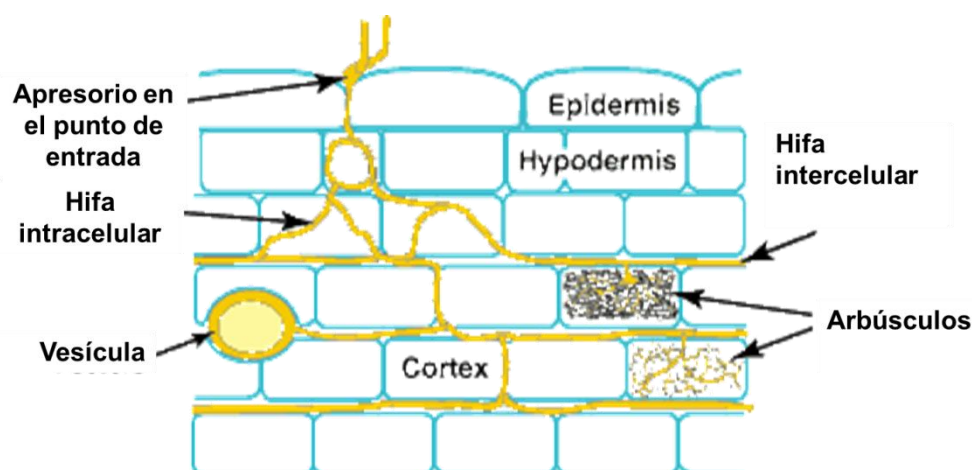


Figura 1. Principales estructuras de una asociación micorrízica arbuscular. Modificado de Brundrett *et al.* (1996)

Los HMA desarrollan redes de hifas capaces de transportar diversos nutrientes del suelo a la planta; la dirección de la transferencia de nutrientes varía en la dirección y cantidad dependiendo de la especie, la combinación hongo-planta y las condiciones ambientales (Hodge, 2000; Nakano *et al.*, 2001). Es conocido que la red de micelio externo puede alcanzar una densidad de hasta 100 metros de hifas por centímetro cúbico de suelo (Miller *et al.*, 1995). Las hifas del hongo, por su tamaño (con un diámetro medio de 3-4 μm) y distribución, son capaces de explorar un volumen de suelo mayor que las propias raíces, penetrando poros y cavidades del suelo en los que las raíces por su tamaño (diámetro $\geq 10 \mu\text{m}$) no pueden penetrar (Smith y Read, 1997). Cada una de estas estructuras fúngicas son consideradas fuente de inóculo el cual es definido como un producto biológico

(líquido o sólido) que facilita la introducción de propágulos de microorganismos cuyas actividades fisiológicas auxilian en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Alarcón *et al.*, 2004).

La formación de la simbiosis también protege a la planta frente a estrés de tipo biótico, como el ataque de organismos patógenos (Liu *et al.*, 2007; Pozo y Azcón-Aguilar, 2007; Koricheva *et al.*, 2009) y abiótico como la salinidad, sequía, frío, presencia de metales pesados (Aroca *et al.*, 2007; Ferrol *et al.*, 2009). Adicionalmente, la red de hifas del hongo que se desarrolla en el suelo contribuye a mejorar la estructura del mismo al facilitar la formación de agregados estables en agua (Piotrowski *et al.*, 2004; Rillig y Mummey, 2006).

4.2. Resistencia sistémica

Las plantas interactúan con organismos benéficos y antagonistas, lo que exige el desarrollo de respuestas adaptativas para integrar las diferentes señales que perciben, estas respuestas varían en función de la gran diversidad de especies de plantas, insectos y microorganismos, incluyendo benéficos, que interactúan y permiten mejorar el crecimiento y la nutrición vegetal, favorecen la tolerancia al estrés, el control de plagas y la polinización (Gomez y Rodríguez, 2012). La respuesta de las defensas en las plantas activa diferentes mecanismos inducibles como la deposición de compuestos en la pared celular, síntesis de compuestos antimicrobianos de bajo peso molecular como las fitoalexinas y la acumulación de proteínas de respuesta a patogénesis con actividad antimicrobiana dependiendo del atacante que se trate. Estas defensas inducibles están sujetas a una regulación estricta, porque su rápida activación es la clave para una defensa exitosa (Pozo *et al.*, 2005).

Estas reacciones no solo se manifiestan de manera local, sino que puede provocar una inducción de respuesta sistémica. Se conocen dos tipos de resistencia sistémica: la resistencia sistémica adquirida (RSA) y la resistencia sistémica inducida (RSI). La resistencia sistémica adquirida es una respuesta de las plantas

para contrarrestar la invasión de patógenos que se origina en el punto de infección e involucra una respuesta de hipersensibilidad, síntesis de proteínas relacionadas a la patogenicidad y producción de ácido salicílico. La resistencia sistémica inducida se manifiesta en respuesta a la colonización del sistema radical de las plantas por ciertas rizobacterias promotoras del crecimiento y síntesis de ácido jasmónico y etileno (Azcón y Barea, 1996; Pozo *et al.*, 2005).

Estos mecanismos de resistencia permiten a la planta activar sus estrategias de defensa a larga distancia. Además de las rizobacterias, recientemente ha surgido evidencia de que los HMA son también capaces de inducir una respuesta de defensa de la planta. Ante esto, se plantea la posibilidad de utilizar a los HMA como agente de biocontrol para diversos patógenos, además de su rol como agente biofertilizante para favorecer las prácticas de la agricultura sustentable (Pieterse *et al.*, 2001; Van Wees *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2016).

Existe una gran número de evidencias que demuestran que los HMA pueden contrarrestar el estrés biótico causado por patógenos que atacan el sistema radical (Avis *et al.*, 2008, Pérez *et al.*, 2015; Trinidad *et al.*, 2017). Por ejemplo, el ataque causado por nematodo de raíz (De la Peña *et al.*, 2006, Elsen *et al.*, 2008). La bioprotección inducida por HMA puede darse por la afectación directa del patógeno mediante exudados y la competencia por alimento y espacio; la mejora en el estado nutricional de la planta y modificación del sistema radical del huésped; desarrollo de un ambiente que propicie el establecimiento de microorganismos antagónicos de la rizosfera y cambios bioquímicos asociados con mecanismos de defensa de la planta e inducción de tolerancia al patógeno (Pozo y Azcón-Aguilar 2007; Avis *et al.*, 2008). Los hongos micorrízicos pueden afectar a los insectos que se alimentan de las raíces a través de efectos indirectos mediados por las plantas e interacciones físicas propias de la micorriza como el cambio en la estructura de la raíz y químicas directas en las raíces y la rizosfera (Jhonson y Rasmann, 2015; Vanette y Rasmann, 2012).

4.3. Factores que modifican las poblaciones y concentraciones de HMA en el suelo

Diversos factores afectan el desarrollo, actividad y supervivencia de los HMA. Entre los más importantes se encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la fertilización, la aplicación de pesticidas y las rotaciones de cultivos. Por ejemplo la labranza y abonado con la aplicación de cal, reducen los niveles de colonización de las raíces y el potencial de los HMA en campo, la fertilización con altos niveles de fósforo disminuye o inhibe la eficiencia de los HMA (Ezawa *et al.*, 2000). De igual forma los cambios de fertilidad del suelo con correcciones a base de fertilizantes minerales o materia orgánica afectan significativamente la actividad micorrízica del suelo en términos de colonización de raíz y número de esporas producidas (Hayman, 1987); una fertilización excesiva en macronutrientes resulta en una colonización mínima, al grado de que se dificulta el encontrar asociaciones simbióticas en suelos de cultivos intensivos y por consiguiente se da la extinción de los HMA en estos suelos (Van der Heijden *et al.*, 1998). El pH afecta el número de esporas de HMA presentes en el suelo (Peña *et al.*, 2007). En suelos ácidos, un aumento del pH en el suelo genera cambios en la saturación de aluminio e incrementa capacidad de intercambio catiónico de las arcillas lo que reduce el estrés en las poblaciones biológicas del suelo, genera un aumento de sus densidades poblacionales y favorece la esporulación en el caso de los hongos micorrízicos (Peña *et al.*, 2007).

4.4. Hongos micorrízicos arbusculares nativos

Los HMA participan en la adquisición de nutrimentos que generalmente se encuentran localizados espacialmente en micrositios, así en raíces colonizadas por HMA nativos pueden explorar mayores volúmenes de suelo, teniendo acceso a fuentes de fósforo (P), localizadas en estos micrositios. Las hifas extraradicales desarrollan un papel importante en la detección y adquisición de P (Cui y Caldwell, 1996). En el caso de los suelos áridos, los HMA nativos ofrecen un incremento en la nodulación y/o fijación biológica de nitrógeno en leguminosas. La inoculación

con HMA nativos y *Rhizobium* incrementan la biomasa foliar, follaje, contenido de N y P en parte aérea y supervivencia en comparación con plantas no inoculadas. Adicionalmente, la doble inoculación induce un efecto sinérgico reflejado en un mayor incremento de P en el tejido de las plantas (Carpenter y Allen, 1998).

La inoculación con HMA endémicos incrementa el crecimiento vegetativo, floración, fructificación y el rendimiento de semillas así como el contenido de fósforo (Stanley *et al.*, 1993). También favorecen la protección contra organismos patogénicos y esto incrementa la fecundidad de sus hospedantes (Newsham *et al.* 1994). En su investigación, Reyes *et al.*, (2016) obtuvieron un efecto positivo en la promoción del crecimiento y la reducción del daño causado por *Phytophthora capsici* en plantas de chile serrano y chile. Quiñones *et al.* (2014) encontraron que plantas de papaya inoculadas con consorcios de HMA incrementaron la biomasa seca en más de 200% con respecto a plantas sin inocular. Plantas de arándano cv Biloxi mostraron una promoción de crecimiento cuando fueron inoculadas con micorrizas nativas (Bautista *et al.*, 2017). Trinidad *et al.* (2017) encontraron que plantas de *Agave cupreata* inoculadas con consorcios de HMA nativos aumentaron su biomasa hasta en un 200 % y disminuyeron la intensidad de la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* en un 50 % comparadas con las plantas sin inocular. Reyes *et al.* (2015) encontraron que plantas de maíz, chile y frijol presentaron un efecto positivo por la inoculación con consorcios de HMA nativos al incrementar su altura y diámetro de tallo con respecto a plantas sin inocular.

4.5. Los suelos ácidos como factor limitante para la producción de maíz

Una causa importante que influye sobre el deterioro de los recursos naturales, es la transformación de ecosistemas naturales como los matorrales, la selva o el bosque de pino-encino a pastizales, a potreros o a terrenos de uso agrícola. En México, extensas áreas de bosques o praderas, se transformaron en áreas en las que actualmente se cultivan cereales básicos para la alimentación, como maíz, trigo y avena. Un caso interesante son los suelos agrícolas del orden Andisol que

se originan de acumulación de cenizas volcánicas y que estuvieron cubiertos por bosques o praderas. Estos suelos tienen como principal factor limitante para el desarrollo de las plantas cultivadas, la acidez (pH ácido igual a 6.5 o menor), que puede afectar la disponibilidad de nutrimentos esenciales principalmente el P. Esta condición edáfica, cuando es adversa, propicia un suelo con baja fertilidad (Hesterberg, 1993; Baligar *et al.*, 1997).

En suelos de baja fertilidad, las plantas cultivadas desarrollan estrategias adaptativas de tolerancia y evasión al mejorar su eficiencia en adquisición de nutrimentos. Entre las estrategias se encuentran, por un lado, su eficiencia nutrimental, definida como la capacidad de una planta para producir la mayor cantidad de biomasa seca por unidad de nutrimento suministrado y, por otro, la relación entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas (Barea, 1998; Portilla *et al.*, 1998). Esta asociación tiene una importancia en 92% de las plantas, incluidos los cereales y permite la obtención de nutrientes poco móviles como el P. Como resultado, se incrementa la biomasa vegetal, una mayor obtención de agua y se modifican las interacciones competitivas y se da estructura a las comunidades vegetales, que favorecen el desarrollo y la producción de los cereales (Montaño *et al.*, 2001).

Una opción para incrementar la eficiencia los fertilizantes químicos es mediante el uso de HMA, alternativa biotecnológica y económica con alto impacto potencial para disminuir el uso de fertilizantes químicos importados, reducir costos y la contaminación ambiental (Bashan *et al.*, 2012).

4.6. Complejo Gallina Ciega como limitante de producción de maíz

Los insectos del subsuelo suelen considerarse plagas de semillas o plántulas que afectan de forma considerable el rendimiento de los cultivos (Jordan *et al.*, 2012). Los rizófagos son insectos del subsuelo que se alimentan de la raíz de las plantas y reducen la masa de raíz disponible para la colonización de la micorriza arbúscular y también pueden causar daño directamente a los hongos micorrízicos

arbusculares. Para el control de estas plagas se utilizan productos químicos cuyo uso inadecuado ocasiona contaminación edáfica y ambiental. El conjunto de especies de los géneros *Phyllophaga*, *Anomala* y *Cyclocephala* conforman el complejo denominado “gallina ciega” y son las plagas de suelo con mayor impacto (Morón *et al.*, 1986), aunque este complejo incluye también especies benéficas (Romero *et al.* 2010) y solo una minoría de las especies son rizófagas. El complejo de gallina ciega, se reporta en más de 40 cultivos agrícolas causando diversos daños que van desde el amarillamiento del follaje hasta la pérdida total de los cultivos; solo en el cultivo del maíz en Latinoamérica se estima una pérdida anual de 135 millones de dólares (Arguello *et al.*, 1999). Este complejo es influenciado en su distribución por las prácticas de manejo del sistema de producción, los periodos de descanso con libre pastoreo y aplicación de herbicidas, así como la disponibilidad de materia orgánica y el nivel de humedad del suelo (Perez-Agis *et al.*, 2014).

Las especies de la familia *Melolonthidae* son parte del complejo de “gallina ciega” y está integrada en México por aproximadamente 600 especies asociadas a 12 géneros. En su fase larvaria se desarrollan en el suelo alimentándose de raíces y materia orgánica (Morón, 1993). El género *Phyllophaga* cuenta con 369 especies agrupadas en los subgéneros *Chlaenobia*, *Chirodines*, *Phytallus*, *Phyllophaga*, *Tostegoptera*, *Eugastra*, *Triodonyx* y *Listrochelus* (Morón, 2003).

Por lo anterior en esta investigación se probaran cinco consorcios nativos de HMA en plantas de maíz en condiciones de invernadero como promotores de crecimiento vegetal y bioprotectores contra los daños por gallina ciega.

V. RESULTADOS

5.1. COLECTA, CUANTIFICACIÓN, PROPAGACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

5.1.1 Resumen

El manejo agrícola de los suelos tiene un impacto directo en la diversidad y densidad de la microbiota existente en ellos. En el municipio de Epitacio Huerta se tienen suelos con una acidez alta, bajas concentraciones de nutrientes y materia orgánica. Además son suelos arcillosos a los que se les ha aplicado fertilización química y un manejo agrícola intensivo lo que ha ocasionado una alteración a la microbiota nativa. En el presente trabajo se estudiaron 5 sitios con condiciones contrastantes en las prácticas agrícolas (descanso, quemas, incorporación de materia orgánica, rotación de cultivos y encalado) y el efecto de estas prácticas en la cantidad de esporas de hongos micorrízicos. Los resultados mostraron diferencias en la abundancia de esporas en función de la práctica agrícola realizada en los suelos. Así mismo, se encontró una correlación positiva significativa entre la concentración de potasio en el suelo y la densidad de esporas y una correlación negativa significativa entre la densidad de esporas y la concentración de fósforo. Se puede mencionar que el manejo y las prácticas agrícolas, impacta directamente en la densidad de comunidades de HMA. Los tipos de manejo con menor perturbación al suelo favorece el aumento en la densidad de esporas de los hongos micorrízicos.

Palabras clave: Consorcios micorrízicos, *Zea mays*, Fertilización, Fósforo.

Collection, quantification, propagation and identification of arbuscular micorrízic fungi

5.1.2 Abstract

The agricultural management of soils has a direct impact on the diversity and density of the microbiota existing in them. In the municipality of Epitacio Huerta there are soils with high acidity, low concentrations of nutrients and organic matter. They are also clay soils to which chemical fertilization has been applied and intensive agricultural management which has caused an alteration to the native microbiota. In the present work, 5 sites with contrasting conditions were studied in agricultural practices (rest, burning, incorporation of organic matter, rotation of crops and liming) and the effect of these practices on the amount of mycorrhizal fungal spores. The results showed differences in the abundance of spores according to the agricultural practice carried out in the soils. Likewise, a significant positive correlation was found between soil potassium concentration and spore density and a significant negative correlation between spore density and phosphorus concentration. It can be mentioned that management and agricultural practices directly impact the density of AMF communities. The types of management with less disturbance to the soil favors the increase in the spore density of mycorrhizal fungi.

Key words: Mycorrhizal Consortiums, Zea mays, Fertilization, Phosphorus.

5.1.3 Introducción

El tipo de suelo, la etapa de crecimiento del cultivo, las prácticas de manejo como la rotación de cultivos, tipo de labranza, aplicación de fertilizantes, pesticidas así como los factores ambientales (pH, temperatura, humedad, etc.) pueden influir en la composición de la comunidad microbiana y tienen un efecto en las diversas actividades enzimáticas en la rizosfera (Giri *et al.*, 2005). Se ha demostrado que la perturbación del suelo afecta la concentración de carbono (C) orgánico en el suelo, la estructura y diversidad de la comunidad de hongos micorrízicos

arbusculares (HMA). La densidad de esporas, la riqueza y diversidad de especies de HMA tienden a aumentar en los tratamientos de labranza de conservación, se ha encontrado que la riqueza de especies de hongos micorrízicos arbusculares se correlaciona con el contenido de C orgánico, por lo que a mayor perturbación de los suelos disminuyen las comunidades de HMA (Yang *et al.*, 2012) y la formación de micorrizas arbusculares.

Existen especies de hongos micorrízicos que son considerados generalistas y se encuentran generalmente en la mayoría de los sitios agrícolas, la diversidad de especies de hongos micorrízicos representa una ventaja funcional de sobrevivencia y colonización de especies vegetales cultivadas en campos agrícolas (Pérez *et al.*, 2012). El manejo agronómico de los suelos en Eпитacio Huerta, Michoacán, es muy variado y por la condición ácida de sus suelos se realiza comúnmente la aplicación de calcio, además de fertilizantes químicos para obtener mejores rendimientos. Las HMA endémicos se adaptan al pH del suelo de origen lo que implica una limitante en la eficiencia de cepas comerciales (Pérez *et al.*, 2011). Con la finalidad de estudiar la presencia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), y determinar el impacto que podría tener el tipo de manejo agrícola empleado por los productores de Eпитacio Huerta en las comunidades de HMA, se estudió la concentración de esporas de HMA bajo diferentes condiciones de manejo.

5.1.4 Materiales y métodos

5.1.4.1 Sitios de muestreo

El muestreo se realizó en cinco sitios ubicados en el municipio de Eпитacio Huerta, con las condiciones habituales para el cultivo de maíz en cada predio. Se seleccionaron cuatro localidades con condiciones edafoclimáticas contrastadas: Tejocote Polvillas, Dolores, Eпитacio Huerta (Cabecera municipal) y Santa Cruz Ojo de Agua.

Localidad: Tejocote Polvillas

- Nombre del predio: El Anteojo (Fig. 2)
- Productor: Eugenio Loyola
- Ubicación geográfica: N 19° 59' 45.75" O 100° 21' 48.53"
- Altitud: 2,647 msnm



Figura 2. Predio El Anteojo en la localidad de Tejocote Polvillas, municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

Localidad: Tejocote Polvillas

- Nombre del predio: La Ciénega (Fig. 3)
- Productor: Eugenio Loyola
- Ubicación geográfica: N 20° 00' 16.56" O 100° 21' 50.79"
- Altitud: 2,628 msnm



Figura 3. Predio La Ciénega en la localidad de Tejocote Polvillas, municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

Localidad: Dolores

- Nombre del predio: El Llano (Fig. 4)
- Productor: Luis Cano
- Ubicación geográfica: N 20° 03' 09.48" O 100° 17' 35.27"
- Altitud: 2,359 msnm



Figura 4. Predio El Llano en la localidad de Dolores municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

Localidad: Epitacio Huerta

- Nombre del predio: Cecytem (Fig. 5)
- Productor: Isabel Feregrino
- Ubicación geográfica: N 20° 08' 16.71" O 100° 17' 52.02"
- Altitud: 2,509 msnm



Figura 5. Predio Cecytem en la localidad de Epitacio Huerta, municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

Localidad: Santa Cruz Ojo de Agua (Fig. 6)

- Nombre del predio: El Secano
- Productor: Ezequiel González
- Ubicación geográfica: N 20° 13' 07.32" O 100° 19' 46.86"
- Altitud: 2,497 msnm



Figura 6. Predio El Secano en la localidad de Santa Cruz Ojo de Agua, municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

5.1.4.2 Condiciones agronómicas de los sitios muestreados

El predio El anteojo, de la localidad Tejocote Polvillas, se encontraba en preparación para siembra después de un descanso total del ciclo anterior. El predio La Ciénega, de la localidad de Tejocote Polvillas, se encontraba sembrado con maíz de tres semanas de emergencia con una distribución irregular. El Llano, de la localidad de Dolores, tenía un descanso de dos años y se había realizado una quema para la eliminación de la vegetación existente, presentaba un suelo extremadamente compactado y agrietado. El predio Cecytem, ubicado en la cabecera municipal, se encontraba dentro de la zona urbana y con una rotación de cultivos (avena-maíz). El predio El Secano, de la localidad Santa Cruz Ojo de Agua, se encontraba en preparación con la incorporación de estiércol fresco.

5.1.4.3 Muestreo de suelos

La colecta de muestras se realizó el día 16 de mayo del año 2017. Se colectó el suelo con una pala cuadrada; en cada predio se tomaron cinco muestras a una profundidad de aproximadamente treinta centímetros. Cada muestra se depositó

en bolsas de plástico con capacidad para tres kilogramos y se rotularon con los datos de campo correspondientes: nombre de predio, nombre de productor, localidad, fecha de muestreo. Se trasladaron al laboratorio de Teledetección y Fisiología Vegetal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF)-UMSNH para su procesamiento. En el laboratorio, se mezclaron para obtener una muestra compuesta de aproximadamente diez kilogramos de suelo de cada sitio muestreado, el suelo homogenizado se secó a la sombra a temperatura ambiente.

De una porción de 1 kg de la mezcla compuesta de cada sitio muestreado, se realizó el análisis físico químico, en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia.

5.1.4.4 Aislamiento y cuantificación de esporas de HMA

Para la obtención de esporas se utilizó la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gerdemann y Nicolson (1963), en combinación con la técnica de flotación en sacarosa descrita por Walker (1982). Las esporas obtenidas se depositaron en tubos de ensayo con su identificación, para su posterior conteo.

La cuantificación de esporas se realizó mediante la observación del contenido en el líquido resultante del paso anterior, utilizando un microscopio estereoscópico (Velab MC3) de acuerdo al protocolo descrito por Trejo *et al.* (2008).

5.1.4.5 Propagación de HMA en macetas trampa

Las macetas se establecieron en un invernadero tipo cenital que se encuentra cubierto con un plástico que deja pasar un 80 % de la radiación solar. Este invernadero se ubica en las instalaciones del (IIAF) con dirección en Km 9.5 carretera Morelia – Zinapécuaro, Tarímbaro, Michoacán.

Se realizó la propagación de hongos micorrízicos por el método de macetas trampa (Trejo *et al.*, 2008). Se usaron 25 macetas de plástico (5 repeticiones para cada sitio de muestreo, distribuidas al azar dentro del invernadero) con capacidad de 1 kilogramo perforadas en el fondo y para evitar la pérdida de esporas en los riegos se colocó un círculo de papel filtro. Como sustrato se utilizó arena esterilizada, por la técnica de vapor de agua a presión por un lapso de dos horas durante tres días. Se usaron como cultivos trampa maíz, cempasúchil, trébol y pasto bermuda. Se agregaron 100 gramos de inóculo por maceta.

Las macetas se mantuvieron durante siete meses, durante los cuales se regaron cada tercer día con agua desionizada. Después de este lapso se dejaron de regar y una vez seca la parte aérea la planta fue cortada para dejar secar el suelo y promover la esporulación. El sustrato junto con las raíces se homogenizó con un molino de bolas marca Planetary Mill PULVERISETTE 5/4 a 350 RPM durante dos minutos. Se cuantificó la concentración de esporas en cada consorcio.

5.1.4.6 Identificación de los HMA

a) Separación de esporas

Las esporas se separaron en grupos discretos de acuerdo a las características morfológicas: tamaño, color, estructura de la pared, turgencia, presencia y forma de la hifa de sostén.

b) Montaje

Se realizaron preparaciones permanentes con un promedio de 10 esporas limpias. Se colocó la mitad del grupo de esporas en una gota de PVLG en el centro del portaobjetos, y la otra mitad en PVLG y Melzer en un extremo del portaobjetos, se colocó un cubreobjetos sobre las esporas y se presionó ligeramente para romper las esporas y observarlas.

Las preparaciones se secaron a temperatura ambiente durante tres días antes de observarlas al microscopio.

c) Identificación de especies

Las preparaciones se observaron con un microscopio compuesto, utilizando los aumentos 10x, 40x y 100x. La identificación de especies de HMA se realizó con apoyo de la Dra. Laura Verónica Hernández Cuevas catedrática e investigadora de la Universidad de Tlaxcala.

5.1.5 Resultados y discusión

5.1.5.1. Condiciones físicoquímicas de los sitios

Los cinco predios presentaron una fuerte acidez del suelo. El predio Cecytem fue el más ácido con un pH de 3.8; el predio La Ciénega con un pH de 4.3 fue el predio menos ácido, este resultado puede deberse a la incorporación de cal que se realizó en este predio. La condición de acidez extrema, dificulta la movilidad y absorción de la mayoría de nutrientes.

En general los cinco predios presentaron concentraciones bajas de nutrientes. La Ciénega presentó las mayores concentraciones de nitrógeno (N) con 61.9 kg.ha⁻¹ y fósforo (P) con 25 ppm, que pudo deberse a la fertilización previa del predio para el cultivo de maíz existente al momento de la colecta de las muestras (Cuadro 2).

Cuadro 2. Condiciones químicas de los suelos.

Predio	pH (solución CaCl ₂)	C.E. (dS m ⁻¹)	M.O. %	N org. (kg ha ⁻¹)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
El anteojo	4,0	0,2	2,0	50,2	8	77	1150
La Ciénega	4,3	0,3	2,5	61,9	25	46	1400
El Llano	4,0	0,1	2,4	59,6	13	67	1100
Cecytem	3,8	0,2	2,2	54,9	11	48	1000
El Secano	4,1	0,3	1,7	41,6	11	41	2250

pH=potencial hidrogeno, C.E.=conductividad eléctrica, M.O.=materia orgánica.

5.1.5.2 Cuantificación de esporas en suelos colectados

La cantidad de esporas en los suelos de los predios muestreados varió significativamente ($P < 0.05$). En el predio El anteojo, se encontró la mayor densidad de esporas por 100 gramos de suelo seco encontrándose en promedio 507 ± 88 esporas, en este suelo se registró la menor concentración de P. En el predio La Ciénega, la densidad fue de 48 ± 36 esporas y la mayor concentración de P disponible (Fig. 7). Por lo general, bajos contenidos de fósforo en el suelo favorecen el establecimiento de la simbiosis micorrízica incrementando la colonización de las raíces de las plantas y promueven la producción de las esporas; por el contrario, un alto contenido de fósforo en el suelo incide en la disminución de la simbiosis en las raíces de las plantas (Barea, 2001).

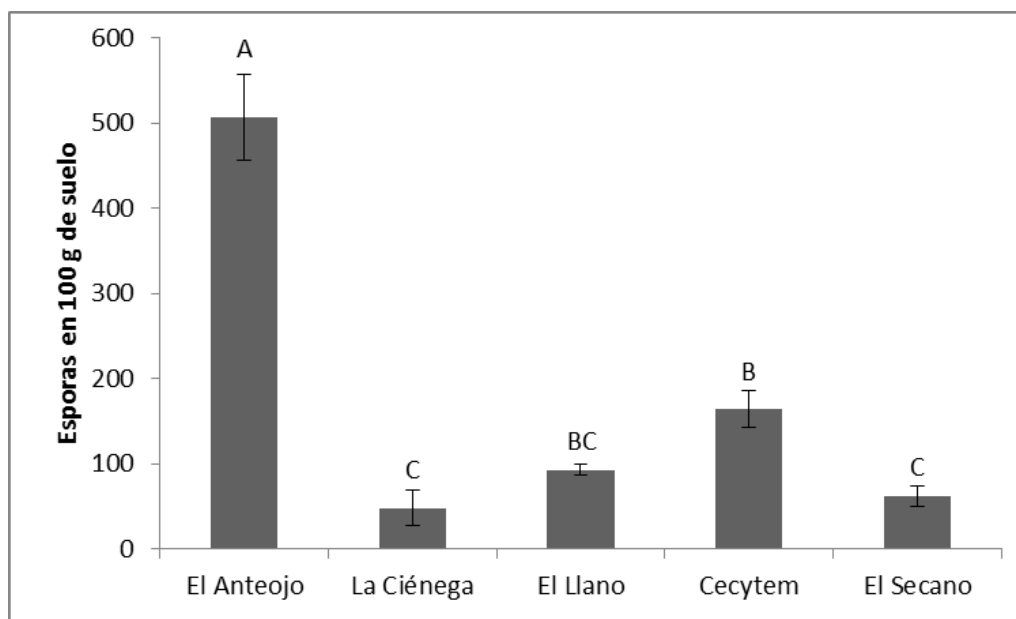


Figura 7. Cantidad de esporas nativas en suelos. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

Las diferencias entre las concentraciones de esporas de los diferentes predios, pudo deberse a la práctica agrícola realizada en el predio. La parcela que había tenido descanso y sin laboreo agrícola (Anteojo), registró la mayor densidad de esporas (507). En la parcela con encalado y maíz en etapa vegetativa (Ciénega), se obtuvo la menor cantidad de esporas. Este bajo valor encontrado podría deberse a que en esta parcela ya se encontraba maíz y muy probablemente las esporas ya habrían germinado y colonizado las raíces.

La parcela El Llano, presentó una densidad de esporas estadísticamente igual la parcela Cecytem, donde se encontraron los suelos con una menor labor agrícola.

La estructura y composición del conjunto de HMA están influenciadas principalmente por la fertilización con N y, en menor medida, por la labranza (Toro *et al.*, 2008). La mayor densidad de esporas se encontró en el predio El Anteojo que no presentó trabajos de laboreo al estar en descanso durante un año; en el predio El Llano que estuvo en mayor tiempo de descanso (2 años) se realizó una quema y presentó una densidad similar a los predios donde se realizó laboreo

agrícola convencional. Blanco y Salas (1997) mencionan que la quema de rastrojos de maizales no disminuye cuantitativamente la infectividad de los HMA, pero los efectos indirectos de la quema (erosión del suelo, pérdida de fertilidad del suelo y cambio de composición de especies de la cubierta vegetal) sí producen cambios.

En el predio Cecytem donde se realizó una rotación de cultivos se registró una cantidad mayor de esporas que en los sitios donde se realizaron labores de perturbación de suelo. Faggioli (2017) menciona que las densidades poblacionales de HMA se ven afectadas por prácticas de manejo agrícola como la sustitución de la vegetación nativa por especies introducidas y mejoradas genéticamente, el uso de pesticidas y fertilizantes, el monocultivo, la remoción del suelo y los barbechos prolongados.

Respecto al análisis de correlación realizado entre las concentraciones de potasio y fósforo y la densidad de esporas, se encontró una correlación positiva ($P=0.001$) entre los niveles de potasio del suelo y la densidad de esporas y una correlación negativa ($P=0.02$) con la concentración de fósforo. Por lo general, bajos contenidos de fósforo en el suelo favorecen el establecimiento de la simbiosis micorrízica incrementando la colonización de las raíces de las plantas y favoreciendo la reproducción de las esporas; por el contrario, un alto contenido de fósforo en el suelo incide en la disminución de la simbiosis en las raíces de las plantas (Barea, 2001).

5.1.5.3 Propagación de esporas en macetas trampa

El inóculo del consorcio La Ciénega presentó la mayor cantidad de esporas en las macetas trampa con 3315 ± 477 en 100 g de sustrato, contrastando con la cantidad de esporas cuantificadas en el suelo colectado (Fig. 8).

El antejo presentó 586 ± 170 esporas en 100 g de sustrato, similar a la cantidad de esporas que se cuantificaron en el muestreo de suelo.

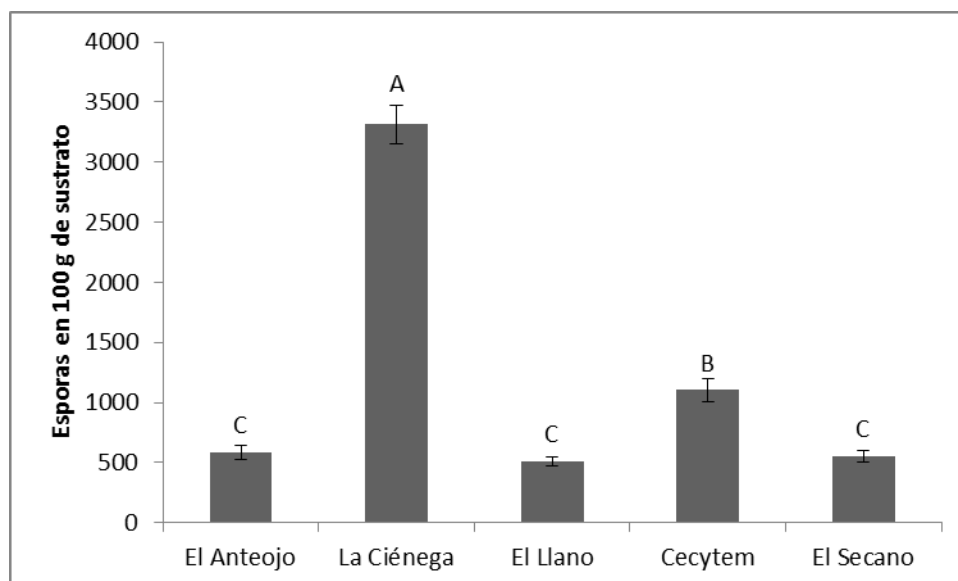


Figura 8. Concentración de esporas en reproducción por macetas trampa. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

Las diferencias de número de esporas por sitio entre suelo directo y sustrato de propagación pueden deberse a que, en la propagación de inóculos mediante la técnica de macetas con cultivos trampa brinda condiciones más favorables para el desarrollo de especies presentes en el suelo pero que no pueden ser observadas en muestras directas.

5.1.5.4 Especies de HMA

En los inóculos obtenidos de las macetas trampa se identificaron nueve especies correspondientes a cinco géneros (Cuadro 3). *Acaulospora* es el género con mayor representación con tres especies, seguido de *Funneliformis* y *Rhizophagus* con dos especies cada uno. Los géneros *Claroideoglossum* y *Diversispora* son representados por una sola especie cada uno.

Cuadro 3. Especies de HMA aisladas a partir de sustrato de macetas trampa, de inóculos provenientes de la región maicera de Epitacio Huerta, Michoacán.

Orden	Familia	Especie	Autor(es)
Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora denticulata</i>	Sieverd. & S. Toro
Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora morrowiae</i>	Spain & N.C. Schenck
Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora spinosa</i>	C. Walker & Trappe
Glomerales	Claroideoglomeraceae	<i>Clareoideoglomerus claroideum</i>	C. Walker & Schuessler
Diversisporales	Diversisporaceae	<i>Diversispora eburnea</i>	C. Walker & Schuessler
Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis geosporum</i>	C. Walker & Schuessler
Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis mosseae</i>	C. Walker & Schuessler
Glomerales	Glomeraceae	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	C. Walker & Schuessler
Glomerales	Glomeraceae	<i>Rhizophagus intraradices</i>	C. Walker & Schuessler

Estos resultados coinciden con los reportados por Serralde y Ramírez (2004), quien encontró en suelos en condición de acidez en los que se cultivaba maíz, cinco géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA): *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrhophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora*. Pérez et al. (2012) en un muestreo en siete parcelas para siembra de maíz en el estado de Chiapas, reportan cinco géneros de HMA en cultivos de maíz; *Acaulospora* y *Glomus* fueron los géneros más abundantes en especies. Sin embargo, únicamente el género *Acaulospora* coincide con los resultados encontrados en esta investigación.

Las especies de *Acaulospora denticulata*, *Acaulospora morrowiae* y *Acaulospora spinosa* coinciden con los reportes de Pérez et al. (2012), quienes identificaron estas especies en parcelas de maíz con manejo orgánico en el estado de Chiapas. Especies del género *Acaulospora* muestran preferencia a suelos con un pH bajo

(Siqueira *et al.*, 1984). Por ejemplo Wilson (1987) aisló a *Acaulospora mellea* de suelos con un pH de 4.4.

Clareoidoglomus claroideum y *Funneliformis geosporum* se encontraron en el 100 % de los sitios muestreados, *Acaulospora morrowiae*, *Diversispora ebúrnea* y *Rhizophagus intraradices* se identificaron en un 40 % de los sitios muestreados y *Acaulospora denticulata*, *Acaulospora spinosa*, *Funneliformis mosseae* y *Rhizophagus fasciculatus* en el 20 % de sitios muestreados.

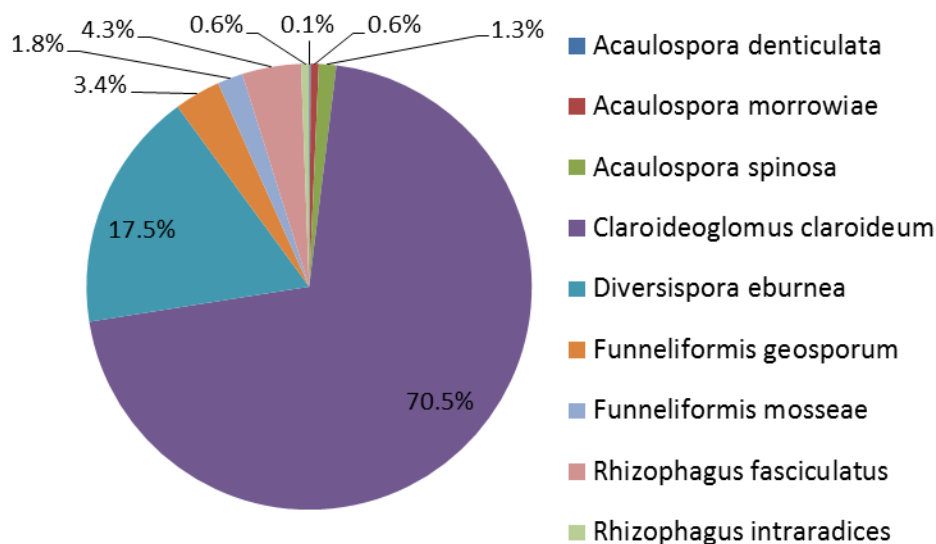


Figura 9. Porcentaje de esporas de hongos micorrízicos presentes en suelos de la región maicera de Epitacio Huerta, Michoacán.

El Anteojo y Cecytem fueron los sitios con mayor abundancia de especies con cinco especies cada uno. El secano presentó cuatro especies de HMA. La Ciénega y El Llano resultaron los sitios con menor diversidad de especies de HMA con solo tres especies cada uno. La especie con mayor abundancia fue *Clareoidoglomus claroideum* con un 70.5 % del total de esporas y con presencia en el 100 % de los sitios; *Diversispora ebúrnea* con un 17.5 % fue la segunda especie con mayor abundancia pero solo se encontró en los predios de El Anteojo y El Secano (Fig. 9). La especie con menor abundancia fue *Acaulospora denticulata* con un 0.1 % y se identificó solo en El Anteojo.

5.1.6 Conclusiones

El manejo y laboreo agrícola, impacta directamente en la densidad de comunidades de HMA, los tipos de manejo de menor perturbación favorece el aumento en la densidad de esporas de hongos micorrízicos arbusculares.

Las concentraciones de fósforo son inversamente proporcionales a la densidad de esporas de hongos micorrízicos arbusculares, por el contrario las concentraciones de potasio favorecen el incremento en la densidad de esporas de estos hongos.

Las densidades de esporas obtenidas por propagación en macetas trampa fueron diferentes a las densidades naturales del suelo con excepción del predio El Anteojo donde se contabilizaron cantidades similares.

Se encontraron nueve especies correspondientes a 5 géneros de HMA. El género con mayor representatividad fue *Acaulospora* con tres especies. *Clareoidoglomus clarioideum* y *Funneliformis geosporum* se encontraron en todos los sitios muestreados. *Clareoidoglomus clarioideum* fue la especie más abundante.

5.1.7 Literatura citada

Barea, J. M. 2001. Interacciones ecológicas de los microorganismos en el suelo y sus implicaciones en agricultura. In: Labrador Moreno, J. y Altieri, M.A. Eds. Agroecología y desarrollo. Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos. Ediciones Mundiprensa, Cáceres, 165-184 p.

Blanco, F. y Salas, E. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 21(1), 55-67.

Faggioli, V. 2017. Efecto del manejo del suelo sobre la diversidad de endomicorrizas. *Agrotecnia*, (26), 24.

Gendermann J. y Nicholson T. 1963. Spores of mycorrhizal *Edogone* species extracted from soil by wet, sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 46: 235-244

Giri, B., Giang, P. H., Kumari, R., Prasad, R., y Varma, A. 2005. Microbial diversity in soils. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*, Buscot F., Varma A., eds. Springer, Berlín. Vol. 3, pp 19-55.

Pérez-Luna, Y. D. C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R. y Cuevas, L. 2012. Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana. Botánica*, 69(1), 46-56.

Pérez, A., Sierra, J. R., y Montes, V. D. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 3(2), 366-385.

Serralde, A. M. y Ramírez, M. M. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 31-40.

Siqueira, J. O., Hubbell, D. H. y Mahmud, A. W. 1984. Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 76(1-3), 115-124.

Toro M., Bazó I., y López M. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*. 58(3), 215-221.

Trejo A. D., Aguilar, T., Rodríguez, D. Z. y Capistrán, R. L. 2008. Manual de prácticas para el estudio de la simbiosis micorrizógena arbuscular. (No. C/589.2 T7).

Walker, C., Mize, C. W. y McNabb Jr, H. S. 1982. Populations of endogonaceous fungi at two locations in central Iowa. *Canadian Journal of Botany*, 60(12), 2518-2529.

Wilson, D.O. 1987. Differential plant response to inoculation with tow VA mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 110: 69-75.

Yang S.K., Kim M.K., Seo Y.W., Choi K.J., Lee S.T., Kwak Y.S. y Lee Y.H. 2012. Soil microbial community analysis of between no-till and tillage in a controlled horticultural field. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28, 1797–1801.

5.2. EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN MAÍZ ANTE EL ATAQUE DE GALLINA CIEGA

5.2.1 Resumen

En este estudio, se evaluaron los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) *Funneliformis mosseae* y *Rhizophagus intraradices* en el control del daño de larvas de *Phyllophaga* y promoción de crecimiento en plantas de maíz en condiciones de invernadero. El diseño experimental usado fue unifactorial completamente al azar. Cada unidad experimental consistió en una maceta con una planta de maíz y cuatro larvas de *Phyllophaga* spp. Como variables respuesta se registraron la altura de planta y diámetro de tallo, peso seco aéreo y aumento de biomasa de las larvas. A los datos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que las plantas de maíz inoculadas con *F. mosseae* tuvieron el mayor incremento en la altura y biomasa seca entre todos tratamientos. El aumento de peso de larvas no se vio afectado por el nivel de micorrización de las plantas. La colonización de la raíz del maíz por los HMA no afectó la rizofagia de *Phyllophaga* spp, pero disminuyó el efecto sobre las plantas. Las plantas inoculadas incrementaron su biomasa con respecto a las plantas sin inocular.

Palabras clave: *Melolonthidae*, biofertilizante, bioprotección, *Zea mays*.

Arbuscular mycorrhizal fungi for bioprotection against white grub in maize

5.2.2 Abstract

In this study, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Funneliformis mosseae* and *Rhizophagus intraradices* were evaluated in the control of *Phyllophaga* larvae damage and growth promotion in maize plants under greenhouse conditions. The experimental design used was completely randomized. Each experimental unit consisted of a pot with a corn plant and four larvae of *Phyllophaga* spp. As response variables, plant height and stem diameter, aerial dry weight and increase of larvae biomass were recorded. The data were analyzed by variance and

comparison of Tukey means ($P \leq 0.05$). It was found that maize plants inoculated with *F. mosseae* had the highest increase in height and dry biomass among all treatments. The weight gain of larvae was not affected by the level of mycorrhization of the plants. The colonization of the root of the corn by the AMF did not affect the rhizophagy of *Phyllophaga* spp, but decreased the effect on the plants. The inoculated plants increased their biomass with respect to the plants without inoculation.

Key words: *Melolonthidae*, biofertilizer, bioprotection, *Zea mays*.

5.2.3 Introducción

Un factor limitante en el rendimiento del cultivo de maíz son las plagas rizófagas. Se ha estimado que pueden ocasionar pérdidas de hasta 976 kg ha⁻¹ anualmente (De La Paz, 2008). Los daños causados por estas plagas son dinámicos y con una tendencia a incrementarse a través del tiempo y su impacto en el rendimiento está en función de factores físico y biológicos así como el manejo de producción (Perez-Agis *et al.*, 2014). Dentro de estas plagas rizófagas encontramos el “complejo gallina ciega” (CGC) integrado por algunos estados larvarios de la familia *Melolonthidae* (Morón, 2003). Existe discusión en el grado de especificidad de los hábitos de muchas de estas especies, así como, de su capacidad de hacer de la rizofagia algo más facultativo de acuerdo a la oferta alimenticia y sus condiciones de vida (Morón, 2010). Para el control de plagas rizófagas se emplean frecuentemente productos químicos que ocasionan contaminación de suelos agrícolas, cuerpos de agua y el medio ambiente. La utilización de microorganismos benéficos representa una opción en el manejo de las poblaciones de los insectos rizófagos. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan una buena alternativa, debido a los beneficios que confieren a la planta siendo los más importantes la adquisición de agua y nutrientes como el fósforo (P), la promoción del crecimiento, resistencia al ataque de plagas y enfermedades, tolerancia a estrés biótico y abiótico, además de mejorar la estructura del suelo (Bashan *et al.*, 2012) entre otros.

Por otro lado, los HMA inducen la resistencia de las plantas a los insectos fitófagos de formas muy variadas como la producción de ácido salicílico, fitoalexinas y acumulación de proteínas de respuesta a patogénesis con actividad antimicrobiana. (Koricheva *et al.*, 2009). Además, las plagas rizófagas y los HMA comparten el mismo hábitat e interactúan con el mismo órgano de la planta hospedante, la raíz. Por lo tanto, debería de existir una presión de selección con los HMA que brindaran una bioprotección efectiva con insectos rizófagos (Johnson *et al.*, 2016). Por ejemplo en la interacción rizófagos-raíz, se encontró que la colonización micorrízica aumentaba la resistencia de las plantas a los herbívoros de las raíces, sugiriendo un papel significativo de los hongos micorrízicos en las defensas de las plantas. (Jonhson y Rasmann 2015). Por lo anterior en el presente trabajo se evaluaron dos hongos micorrízicos arbusculares como bioprotectores de plantas de maíz contra gallina ciega en condiciones de invernadero.

5.2.4 Materiales y métodos

5.2.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se desarrolló en un invernadero de techumbre curva con cubierta de acrílico en las instalaciones del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) ubicado en Zapopan, Jalisco. La duración del experimento fue de 56 días.

5.2.4.2 Hongos micorrízicos arbusculares

El hongo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* se obtuvo de una cepa comercial (Micorriza INIFAP) y *Funneliformis mosseae* fue aislado de suelo rizosférico de plantaciones de agave del Estado de Michoacán. Ambos fueron obtenidos de la colección de hongos micorrízicos del CIATEJ. Las esporas de los hongos se obtuvieron por medio del método de decantación y tamizado húmedo de Gendermann y Nicholson (1963) y se utilizó la técnica de flotación en sacarosa para su conteo. Se aplicaron 80 esporas en cada una de las unidades experimentales en cada uno de los tratamientos. Para las plantas que no se inocularon con HMA, se recuperó la microbiota existente en el sustrato donde se

propagaron las esporas de los HMA por lixiviación con agua desionizada y aplicándolo a las plantas.

5.2.4.3 colecta de insectos

Se colectaron larvas de *Phyllophaga* spp. del tercer instar, en campos de maíz infestados con estos insectos en Zacapu Michoacán. Las larvas se mantuvieron en recipientes plásticos individuales con turba estéril húmeda. La turba se sustituyó cada quince días y las larvas se alimentaron con zanahoria. Previo a la infestación de las macetas con las larvas, éstas se dejaron sin alimentar por quince días para aumentar su voracidad. A los 28 días después del trasplante se realizó la infestación de las macetas con las larvas. Éstas se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de alcohol al 70 % por 30 segundos, cloro al 1 % por 30 segundos y posteriormente lavándolas en agua estéril y secándolas con toallas de papel estéril. Al momento de la infestación las larvas fueron marcadas individualmente por colores en la capsula cefálica y se tomó su peso inicial. Se usaron cuatro larvas por unidad experimental.

5.2.4.4 Sustrato y material vegetal

El sustrato utilizado fue una mezcla de suelo, arena y agrolita, esterilizado (121 °C /8h) en proporción 4:2:1 (v/v). Las semillas de maíz empleadas fueron de maíz criollo “Blanco” del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. Se desinfectaron en una solución de cloro al 5 %, posteriormente en alcohol al 70 % y se enjuagaron en tres ocasiones con agua estéril. Se germinaron en toallitas de papel húmedas colocando 12 semillas por paquete e introduciendo 3 paquetes en una bolsa de polietileno, se introdujeron en una caja de unicel y se depositaron en un cuarto de incubación a una temperatura promedio de 26°C en oscuridad. A los nueve días las plántulas con las mismas características fueron trasplantadas a macetas de polietileno con 2.5 kg de sustrato. Al momento del trasplante, se realizó la inoculación con los hongos micorrízicos asegurando su contacto con el sistema radical de cada planta, depositando 80 esporas contenidas en sustrato. Durante el experimento, se aplicaron riegos con agua corriente manteniendo las macetas a

capacidad de campo. A cada maceta se le aplicaron 30 ppm de N en forma de urea en cinco momentos para un total de 150 ppm de N por unidad experimental.

5.2.4.5 Variables de crecimiento vegetal y biomasa de los insectos

Se realizaron muestreos a los 35, 42, 49 y 56 días después del trasplante, en los que se registró altura de planta (AP) y diámetro del tallo (DT). La AP se determinó con una cinta graduada en centímetros, desde la base del tallo hasta la base de la última hoja apical. El DT expresado en milímetros, se determinó con un vernier digital a la altura de la base del tallo a ras del sustrato. A los 56 días después de realizado el trasplante se registró la biomasa seca total (BST), ésta se obtuvo con una balanza analítica, después de haber secado las muestras de tejido vegetal fresco en un horno a 60 °C durante cuatro días. A los 59 días después del trasplante se determinó el aumento de biomasa de las larvas (ABL), pesando a las larvas en una balanza analítica.

5.2.4.6 Diseño experimental y análisis estadístico de datos

La unidad experimental consistió en una maceta con una planta y cuatro larvas de *Phyllophaga* sp, estas unidades fueron distribuidas en un diseño experimental completamente al azar. Se evaluaron dos HMA *Funneliformis mosseae* (Fm) y *Rhizophagus intraradices* (Ri), se utilizaron filtrados de cada uno de los consorcios como control, lo que determinó un total de 4 tratamientos con 10 repeticiones. A los datos se les realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia ($P \leq 0.05$), para determinar diferencias estadísticas entre medias se utilizó la prueba múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico Statgraphics XV (2005).

5.2.4.7 Ensayo para evaluar la rizofagia de *Phyllophaga* spp.

Se tomaron dos gramos de raíz de cada una de las unidades experimentales, las cuales fueron lavadas con agua corriente para eliminar los residuos de suelo y se enjuagaron con agua destilada. Las raíces se colocaron en cajas Petri de 60 X 15 mm, en cada una de estas cajas se depositó una larva de *Phyllophaga*

previamente desinfectada, lo que constituyó la unidad experimental. Se realizaron siete repeticiones de cada tratamiento, se registró el peso inicial de cada una de las larvas. Se pusieron en una cámara de incubación a una temperatura constante de 26 °C. A las 24 y 48 horas se tomó el peso final de las larvas. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa estadístico Statgraphics XV (2005).

5.2.5 Resultados y discusión

Las plantas inoculadas con *F. mosseae* tuvieron la mayor altura durante todo el experimento, alcanzando los 39 cm de altura a los 56 días después del trasplante ($P=0.0009$) (Fig. 10).

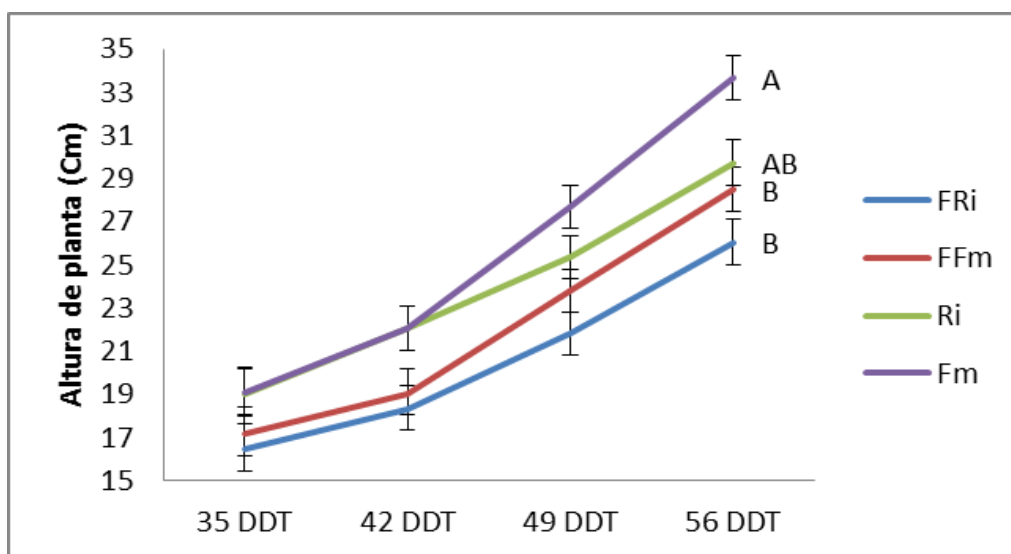


Figura 10. Dinámica de la altura de plantas de maíz con y sin micorriza. La línea negra indica el error estándar. FRi= filtrado de *R. intraradices*, FFm= filtrado de *F. mosseae*, Fm=*F. mosseae*, Ri=*R. intraradices*, DDT (Días después del trasplante). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias significativas a esa fecha Tukey ($P<0,05$)

Los tratamientos sin inoculación tuvieron los valores menores de altura durante todo el experimento. No se encontró diferencia significativa en el diámetro del tallo entre los tratamientos y en promedio se obtuvo un diámetro de 0.58 cm.

Las plantas inoculadas con *F. mosseae* presentaron mayor altura que las plantas no inoculadas. Resultados similares han sido reportados por Gavito y Varela (1995), quienes encontraron que la inoculación con *F. mosseae* promovió el crecimiento vegetal en plantas de maíz. Por otro lado, las plantas inoculadas con *R. intraradices* no mostraron diferencias significativas en altura de planta respecto a las plantas sin inocular lo que contrasta con lo encontrado por Zhao et al. (2015) quien al inocular plantas de maíz con *R. intraradices* encontró un aumento de crecimiento en relación con las plantas que no se inocularon con HMA. La discrepancia en los resultados puede deberse a la afinidad entre especies vegetales y algunas especies de HMA que presentan niveles diferentes de asociación y la respuesta de la planta hospedera (Camprubi et al., 2011).

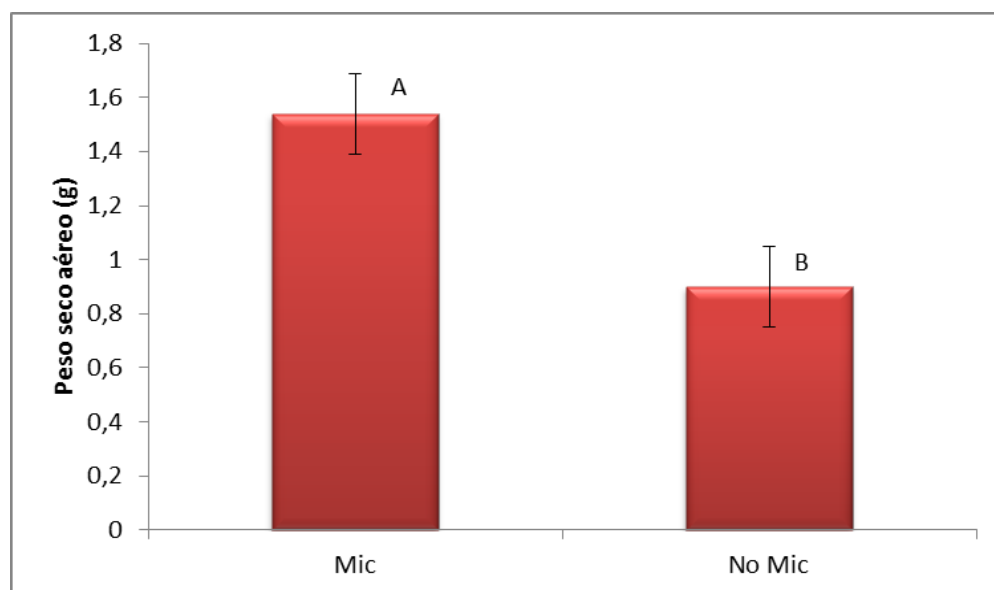


Figura 11. Peso seco aéreo a los 56 días después del trasplante. Mic= micorrizadas, No Mic= no micorrizadas. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en los tratamientos indican diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$)

Las plantas inoculadas con HMA produjeron una mayor biomasa seca respecto a las plantas sin inocular. La biomasa seca de las plantas inoculadas con HMA fue un 59 % mayor respecto a las plantas sin micorrizar (Fig. 11).

Respecto a la rizofagia de las larvas en condiciones *in vitro*, no se encontró diferencia entre larvas alimentadas con raíces micorrizadas y sin micorrizar a las 24 y 48 horas. En ambos casos las larvas disminuyeron su peso a las 24 horas en un 4 % y un 6 % a las 48 horas.

Las plantas inoculadas con HMA y con la gallina ciega en el sustrato, presentaron una diferencia significativa en la biomasa seca aérea respecto a las plantas no inoculadas y con gallina ciega, aún y cuando no se encontró un efecto de los HMA sobre la rizofagia de las larvas. Esto contrasta con lo encontrado por Gange (2001) quien reportó que al inocular plantas de fresa aumentó la biomasa foliar y radicular pero disminuyó el peso de las larvas de *O. sulcatus*, lo que sugiere un efecto de disminución del daño causado por la rizofagia. No se obtuvieron diferencias estadísticas en el aumento de biomasa de larvas alimentadas con raíces micorrizadas y no micorrizadas, lo cual coincide con lo reportado por Ziltlalpopoca *et al.* (2014), quien concluyó que la presencia de micorrizas no afectó la interacción *Phyllophaga*-maíz. Sin embargo, se tienen reportes también que la micorrización, es un factor indirecto para disminuir la rizofagia (Frew *et al.* 2017). En este trabajo, la disminución del peso de las larvas pudo deberse a otros factores como la oxidación de las raíces durante la duración del experimento y/o metabolitos secundarios generados por las plantas al momento del daño por corte de la raíz como lo mencionan Sepúlveda *et al.* (2003). El hecho de que las plantas inoculadas con *F. mosseae* hayan presentado un mayor crecimiento que los tratamientos no inoculados sugiere que la presencia de micorrización tiene un efecto promotor de crecimiento y mitiga el daño ocasionado por *Phyllophaga* al sistema radicular al sustituir la función de la raíz que ha ingerido la gallina ciega.

5.2.6 Conclusiones

La inoculación con HMA promovió el crecimiento vegetal de las plantas de maíz aún en presencia de la gallina ciega en el sustrato. La micorrización no afectó la rizofagia de *Phyllophaga in vitro*. La búsqueda de consorcios micorrízicos o especies de HMA que presenten especificidad con este cultivo representa una opción eficaz para este problema, ya que disminuye el uso de químicos para su control. Por tanto, es un recurso con potencial biotecnológico para su utilización en la agricultura sustentable.

5.2.7 Literatura citada

- Bashan y., Salazar B., Moreno M., Blanca R. López B., Linderman R. (2012). Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms and limited amounts of compost and water. *Journal of Environmental Management*, 102. 26-36
- Camprubi A, Estaun V and Calvet C. 2011. Greenhouse inoculation of psammophilic plant species with arbuscular mycorrhiza fungi to improve survival and early growth. *European Journal of Soil Biology* 47:194-197.
- De La Paz Gutiérrez Salvador 2008. Diversidad de insectos de maíz y teocintle y efecto de factores agroclimáticos en plagas rizófagas en México.
- Frew, A., Powell, J. R., Allsopp, P. G., Sallam, N., & Johnson, S. N. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi promote silicon accumulation in plant roots, reducing the impacts of root herbivory. *Plant and Soil*, 419(1-2), 423-433.
- Gavito, M. E., & Varela, L. 1995. Response of “criollo” maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 176(1), 101-105.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*, 46(2), 235-244.
- Johnson, S. N., Erb, M., y Hartley, S. E. 2016. Roots under attack: contrasting plant responses to below-and aboveground insect herbivory. *New Phytologist*, 210(2), 413-418.
- Johnson, S.N. y Rasmann, S. 2015. Root-Feeding Insects and Their interactions with organisms in the rhizosphere. *Annual Review of Entomology* 60:517-535.
- Koricheva, J., Gange, A. C., & Jones, T. (2009). Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. *Ecology*, 90(8), 2088-2097.

- Morón, M. A. (2003). Diversidad, distribución e importancia de las especies de *Phyllophaga Harris* en México (Coleoptera: Melolonthidae). *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 1-27.
- Morón, M. A. (2010). Diversidad y distribución del complejo “gallina ciega”(Coleoptera: Scarabaeoidea).(pp. 41-63). Rodríguez del Bosque, LA y MA Morón. *Plagas del suelo*. Mundi-Prensa, México, DF.
- Pérez-Agis, E., Morón, M. Á., Nájera-Rincón, M. B., & Castro-Ramírez, A. E. (2014). Factores que influyen en la abundancia de larvas de Coleoptera: Melolonthidae con importancia agrícola en la región Purhépecha, Michoacán, México. *Acta zoológica mexicana*, 30(1), 161-173.
- Sepúlveda Jiménez, G., Porta Ducoing, H., & Rocha Sosa, M. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3).
- Statgraphics (2005) StatGraphics Centurion: ver. XV (User manual). Stat-Point, Inc. USA. 380 p.
- Ziltlalpopoca Hernández G.,Nájera R. M. B., Del Val De Gortari E., Alarcón A., Jackson T., Larsen J. (2014). Interacciones entre larvas de *Phyllophaga vetula* (Coleoptera: Melolonthidae) y micorrizas de maíz. *Entomología Mexicana*, 1: 267 – 27
- Zhao, R., Guo, W., Bi, N., Guo, J., Wang, L., Zhao, J., & Zhang, J. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. *Applied Soil Ecology*, 88, 41-49.

5.3. CONSORCIOS NATIVOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES COMO PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN PLANTAS DE MAÍZ

5.3.1 Resumen

En este estudio, se evaluó el potencial de promoción de crecimiento de cinco consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. El experimento tuvo un diseño factorial con tres factores: variedad de maíz (criollo e híbrido), medio de crecimiento (sustrato y suelo) y HMA (5 consorcios nativos, ENDOMIC y un control). Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones. Se encontró una diferencia en promoción de crecimiento a los 61 días después del trasplante en función del cultivar de maíz (criollo e híbrido) y el medio de crecimiento (sustrato y suelo). Las Plantas de maíz criollo crecieron más que plantas de maíz híbrido. Plantas de ambos maíces presentaron valores mayores en todas las variables de crecimiento en suelo que en sustrato. En maíz criollo el consorcio El Llano, presento porcentajes de colonización del 94% y 80% cultivado en suelo y sustrato respectivamente. En sustrato el comportamiento en las variables de crecimiento fue similar en ambos cultivares de maíz. Plantas de maíz criollo sin HMA trasplantadas a suelo presentaron valores superiores que plantas inoculadas. En maíz criollo en suelo y plantas sin HMA presentaron los valores más bajos en las variables de crecimiento.

Palabras clave: Biofertilizante, *Zea mays*, consorcios, criollo, híbrido.

Native consortiums of arbuscular micorrizic fungi as growth promoters in corn plants

5.3.2 Abstract

In this study, the growth promotion potential of five consortia of native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in maize plants under greenhouse conditions was evaluated. The experiment had a factorial design with three factors: corn variety (creole and hybrid), growth medium (substrate and soil) and HMA (5 native consortiums, ENDOMIC and a control). Each treatment had nine repetitions. A

difference in growth promotion was found 61 days after the transplant according to the maize cultivar (creole and hybrid) and the growth medium (substrate and soil). Creole corn plants grew more than hybrid corn plants. Plants of both maize presented higher values in all the growth variables in soil than in substrate. In creole corn the El Llano consortium, presented colonization rates of 94% and 80% cultivated in soil and substrate respectively. In substrate the behavior in the growth variables was similar in both corn cultivars. Creole maize plants without AMF transplanted into soil presented higher values than inoculated plants. In Creole corn in soil and plants without AMF showed the lowest values in the growth variables.

Key words: Biofertilizer, *Zea mays*, consortiums, creole, hybrid.

5.3.3 Introducción

La especie vegetal con mayor cobertura en México es el maíz (*Zea mays* L.). Este cultivo es la base de la alimentación de los mexicanos, además posee gran importancia cultural por su relación con las costumbres y creencias entre los pueblos indígenas (Ayala-Sánchez *et al.* 2009). En el municipio de Epitacio Huerta, Michoacán, la producción de maíz en el año 2017 fue de 38, 249.18 toneladas. La venta de este producto produjo un ingreso total de \$129, 810, 390.00. Este ingreso lo posicionó como el producto agrícola de mayor importancia en la región. En este municipio uno de los factores que afecta al maíz es la acidez de sus suelos. Para la modificación del pH del suelo, los productores emplean principalmente el hidróxido de calcio. La aplicación de este producto afecta negativamente a la microbiota existente en el suelo e incrementa el costo de producción del cultivo. Estos perjuicios conducen a la búsqueda de alternativas menos nocivas como lo es la utilización de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Toro *et al.*, 2008).

Los hongos micorrízicos arbusculares forman una unión simbiótica con el 80 % de las especies vegetales conocida como micorriza, esta unión es de gran importancia en los sistemas agrícolas (Schübler *et al.*, 2001; Gosling *et al.*, 2006).

La micorriza confiere beneficios como estimulación del crecimiento, incrementan la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, confieren tolerancia a estrés biótico y abiótico y contribuye a mejorar la estructura del suelo (Bethlenfalvay y Linderman, 1992) entre otros.

El empleo de productos comerciales a base de hongos micorrízicos presenta un bajo porcentaje de efectividad debido a que se utilizan cepas no nativas o inóculos con una sola especie. Las cepas nativas de hongos micorrízicos poseen mayores posibilidades de éxito en el campo, por estar adaptados a las condiciones del suelo de cada región (Armenta *et al.*, 2010; Quiñones *et al.*, 2016). Se recomienda el empleo de consorcios micorrízicos nativos y de composición mixta para no alterar la diversidad de las poblaciones existentes en el suelo por el uso de microorganismos introducidos (Sharma *et al.*, 2009).

Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron cinco consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos como promotores de crecimiento en plantas de maíz en condiciones de invernadero.

5.3.4 Materiales y métodos

5.3.4.1 Material vegetal

Se empleó una variedad de maíz criollo “Blanco”, procedente de la localidad de Tejocote Polvillas del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán y un híbrido de ciclo intermedio, altura de 2.45 m, con tolerancia al acame y la pudrición de tallo (DK-2061). Las semillas se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de Tween 80 al 0.05 % durante tres minutos en agitación constante, se enjuagaron con agua corriente y se introdujeron en alcohol al 70 % durante tres minutos manteniéndolas en agitación, se lavaron con agua corriente y se depositaron en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % durante veinte minutos en agitación, finalmente se enjuagaron con agua destilada estéril hasta eliminar el olor a hipoclorito de sodio. Se acomodaron sobre toallas de papel estériles y humedecidas con agua destilada dentro de charolas de aluminio, se cubrieron con

plástico transparente para mantener la humedad en las toallas de papel y se depositaron en una germinadora a una temperatura constante de 26 °C en periodos de 12 horas de oscuridad durante cinco días.

5.3.4.2 Inóculos de HMA

Se utilizaron los consorcios micorrízicos nativos propagados en las macetas trampa (El Anteojo, La Ciénega, El Llano, Epitacio Huerta y El Secano). El producto comercial Endomic que contiene *Glomus* sp. y como testigo se aplicó un filtrado del sustrato del que se eliminaron las esporas de HMA de cada uno de los consorcios nativos y del producto comercial. Para realizar este filtrado se pesó LA misma cantidad de sustrato que la que contenía las 80 esporas de HMA, se disolvió en 100 mL de agua y tamizó a través de una malla de 45 µ y se aplicó a la unidad experimental para adicionar la microbiota existente en el sustrato que contenía las esporas.

5.3.4.3 Sustrato

Se utilizaron dos sustratos, una mezcla de arena-agrolita en proporción 2:1 v/v esterilizada a una temperatura de 190 °C durante 24 horas y un suelo sin esterilizar proveniente de una parcela donde se siembra maíz del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán

5.3.4.4 Diseño experimental

Se realizó un experimento factorial 2X7X2 con un diseño completamente al azar, se tuvieron 28 tratamientos con nueve repeticiones. Los factores fueron: la variedad de maíz, con dos niveles (criollo Blanco e híbrido); el tipo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con los cinco consorcios nativos de la región maicera del municipio de Epitacio Huerta Michoacán, un producto comercial (ENDOMIC) y un testigo sin HMA y el tipo de sustrato, la mezcla arena-agrolita o suelo.

5.3.4.5 Establecimiento del experimento

Las plántulas se trasplantaron a macetas con 1.5 kg de sustrato. Se inocularon directamente al sistema radical con 80 esporas de HMA contenidas en una cantidad determinada de sustrato. Se realizaron riegos constantes para mantener la humedad a capacidad de campo. A partir de la sexta semana se aplicaron 200 mL de solución de Hoagland con la concentración de P al 25%.

5.3.4.6 Variables evaluadas

Se realizaron dos muestreos destructivos. En el primero a los 32 días después del trasplante. Se tomaron cuatro unidades experimentales al azar de cada tratamiento. En el segundo, a los 62 días después del trasplante se muestrearon las unidades experimentales restantes. En cada ocasión se midió la altura de planta con ayuda de una regla de aluminio de 30 centímetros a partir del inicio de las raíces y hasta el nacimiento de la última hoja totalmente extendida, el diámetro de tallo se midió con un vernier digital (Trupper), a la altura del crecimiento de la segunda hoja. Se extrajeron las plantas de las macetas de forma manual, eliminando el sustrato para la recuperación de la raíz, posteriormente se introdujo la zona de la raíz en un recipiente con agua para eliminar los residuos de sustrato.

Las plantas limpias se trasladaron al laboratorio para determinar la biomasa fresca de la raíz, vástago y de hojas con ayuda de una balanza analítica (ADAM). El volumen de la raíz se obtuvo mediante el desplazamiento de agua en una probeta graduada. El área foliar se obtuvo con un planímetro (Li-Cor). Los pesos secos de raíz, vástago y hojas se registraron después de secar los tejidos en estufa a 40 °C hasta peso constante. Se tomó una porción de raíz por cada planta y fueron teñidas con la técnica de tinta china y vinagre (Vierheilig *et al.*, 1998), se montaron preparaciones de fragmentos de raicillas teñidas y se realizaron observaciones al microscopio óptico para registrar el porcentaje de colonización radical. La concentración de esporas en cada unidad experimental se obtuvo mediante el

conteo de esporas aisladas de 10 gramos de sustrato usando la técnica descrita por Gerdeman y Nicholson (1963) en combinación con la flotación en sacarosa.

Se realizó un análisis de varianza y la prueba múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico Statgraphics XV (2005).

5.3.5 Resultados y discusión

Altura de planta y diámetro de tallo

En el cuadro 4, se muestran los resultados del análisis factorial y de interacción para las variables de altura de planta y diámetro de tallo.

Las plantas de maíz criollo presentaron una altura un 100 % mayor que las plantas de maíz híbrido. Las plantas de maíz híbrido presentaron tallos más gruesos que las plantas de maíz criollo en un 11 %. Los resultados encontrados en altura de planta concuerdan con lo reportado por Sánchez et al. (2011) quienes encontraron que variedades de maíz criollo presentaron mayor altura de planta que maíces híbridos. Sin embargo, los valores del diámetro de tallo fueron mayores para los maíces híbridos que los criollos. Esto se debe a la selección de características fenotípicas en los maíces híbridos. En el factor de medio de crecimiento (MC) las plantas que se trasplantaron a suelo crecieron hasta un 50 % más que las plantas trasplantadas a sustrato. Las plantas en suelo incrementaron el DT, en un 24 % con respecto a las plantas en sustrato. El factor HMA no presentó diferencias en ambas variables.

Cuadro 4. Análisis factorial de altura de planta y diámetro de tallo a los 61 DDT¹.

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Factor A: Maíz		
Criollo	59.0 a	13.3 b
Hibrido	29.9 b	14.8 a
Factor B: Medio de crecimiento		
Sustrato	27.3 b	12.5 b
Suelo	61.6 a	15.6 a
Factor C: HMA		
El Llano	43.5 a	14.6 a
La Ciénega	44.9 a	13.6 a
El Llano	48.4 a	14.1 a
Cecytem	44.4 a	13.6 a
El Secano	44.1 a	14.0 a
Endomic	41.7 a	14.0 a
Sin HMA	44.2 a	14.3 a
Interacción A*B		
Valor de P	0.000*	0.197
Interacción A*C		
Valor de P	0.000*	0.007*
Interacción B*C		
Valor de P	0.103	0.222
Interacción A*B*C		
Valor de P	0.0001*	0.004*

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). Para las interacciones los valores de $P < 0,05$ prueban un efecto estadístico entre factores. ¹ Días después del trasplante.

La interacción de los factores Maíz*MC presentó un efecto significativo en ambas variables. Plantas de maíz criollo en suelo presentaron la mayor altura (Fig. 12).

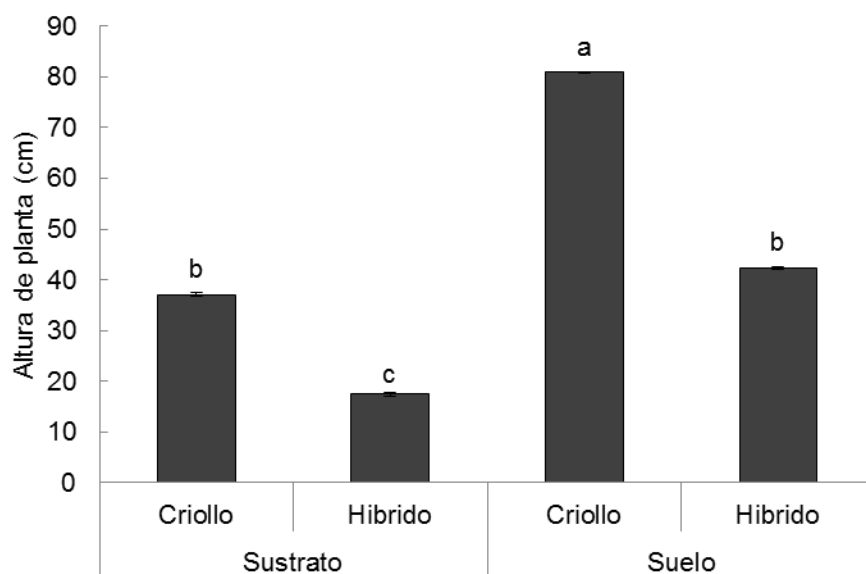


Figura 12. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT¹ para la interacción de los factores Maíz-MC. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

La interacción de los factores Maíz*HMA afectó tanto la altura como el diámetro de tallo. Plantas de maíz criollo inoculadas con el consorcio El Llano presentaron la mayor altura con 74.08 cm y plantas de maíz híbrido con tratamiento Cecytem el mayor diámetro de tallo 17.88 mm (Fig. 13). Sangabriel et al. (2014), menciona que existen diferentes grados de dependencia de la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) entre las variedades nativas de maíz y los híbridos.

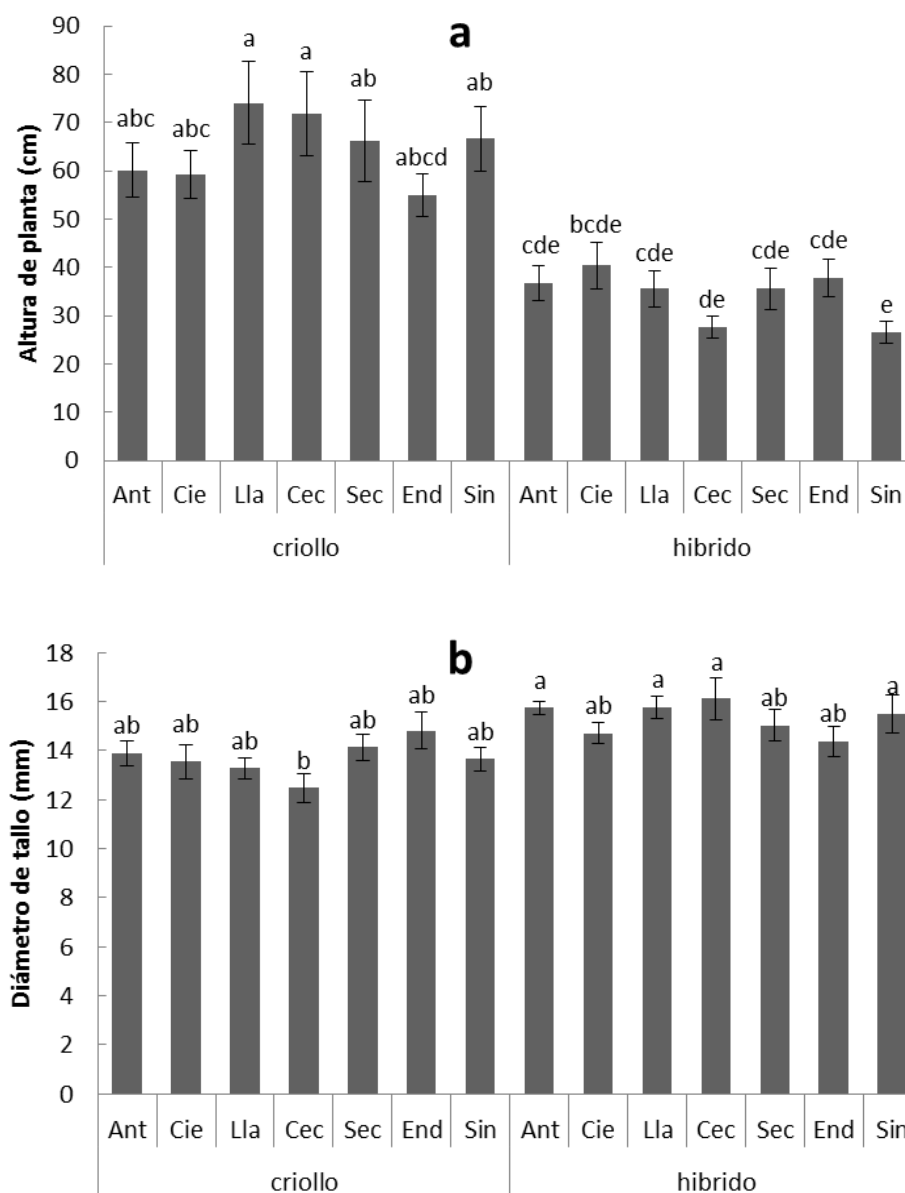


Figura 13. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT¹ para la interacción de los factores Maíz-HMA. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Por la diferencias fenológicas (porte de la planta) se realizó el análisis de las variables entre cultivares de maíz.

En el caso de maíz criollo micorrizado no se observaron diferencias entre altura de las plantas (AP) en sustrato (Fig. 14a). En suelo las plantas inoculadas con los consorcios Cecytem y El Secano presentaron las mayores alturas con 93.44 cm y 91.76 cm respectivamente. Las plantas inoculadas con el consorcio El Anteojo presentaron la menor altura con 64.97 cm. Las plantas Sin HMA en suelo presentaron una altura superior a las inoculadas con los consorcios El Anteojo, La Ciénega y El Llano que resultaron los tratamientos con mayor nivel de colonización micorrízica. Garrido et al. (2010), mencionan que los efectos positivos de la simbiosis micorrízica podrían desaparecer con la densidad de colonización.

Para la variable de diámetro de tallo no se observaron diferencias entre plantas en el mismo medio de crecimiento (Fig. 14b). El mayor DT se presentó en plantas de maíz en suelo con el consorcio El Anteojo con 16.37 mm y plantas en sustrato con el consorcio Cecytem con 10.57 mm fueron las de menor DT.

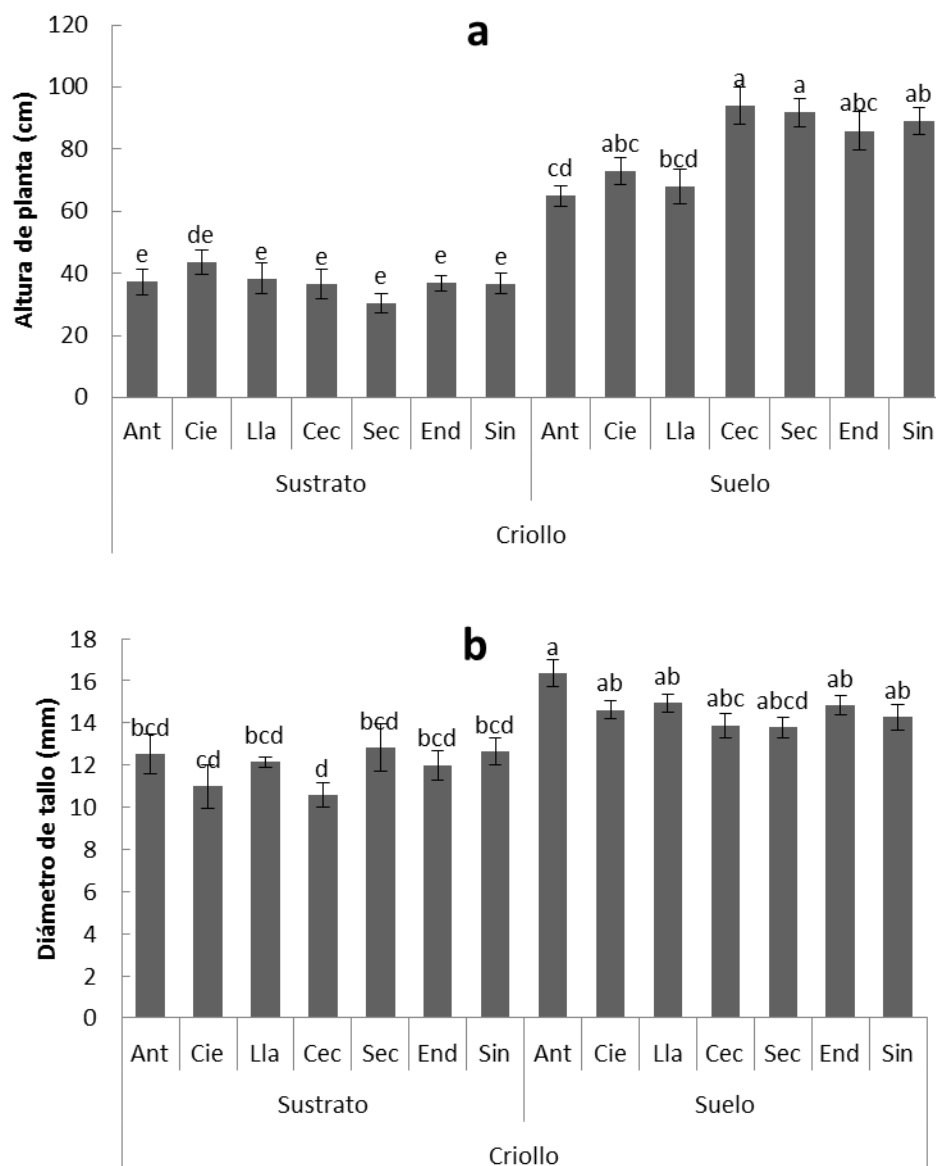


Figura 14. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) en maíz criollo a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

En maíz híbrido plantados en sustrato no mostraron diferencias en altura de planta entre los diferentes niveles de HMA (Fig. 15a). En suelo plantas con el consorcio La Ciénega alcanzaron una altura de 50.52 cm que representó un incremento de 48 % con respecto al tratamiento Sin HMA (33.91 cm) y fueron estadísticamente diferentes.

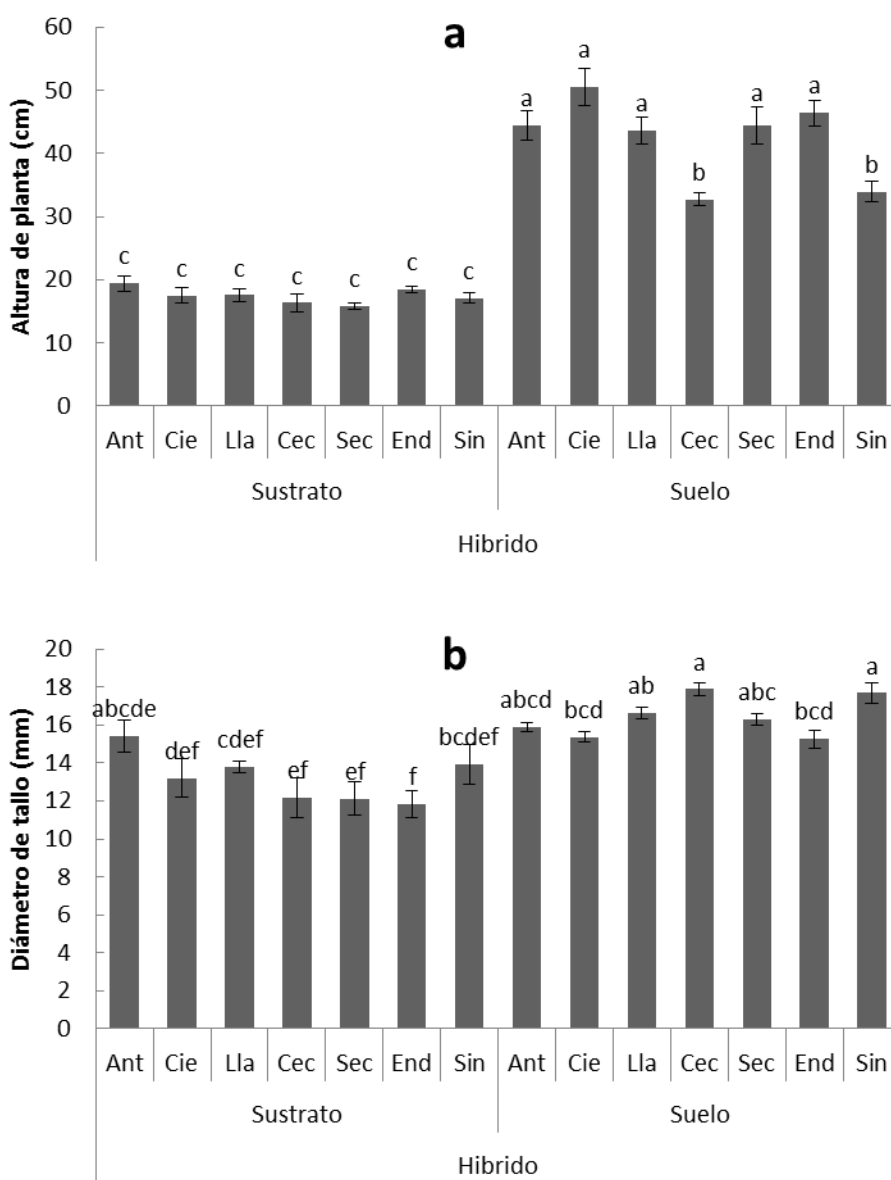


Figura 15. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) en maíz híbrido a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Bonfante y Desirò (2015), señalan que la capacidad micotrófica de las plantas para realizar simbiosis micorrízica produce un impacto positivo en el crecimiento vegetal, debido a la mayor absorción de nutrientes a través de la red de micelio de estos microorganismos. Las plantas en sustrato con el inóculo El Anteojo presentaron un DT de 15.41 mm, un 10 % mayor que plantas Sin HMA con 13.93 mm (Fig.15b). En plantas de maíz híbrido en suelo el consorcio Cecytem presentó un DT de 17.88 mm, que fue un 17 % mayor que plantas con el inóculo comercial Endomic.

Área Foliar, volumen de raíz y peso fresco y seco

En el cuadro 5 se muestran los resultados del análisis factorial y de interacción para las variables de altura de planta y diámetro de tallo.

El factor HMA, modificó el peso fresco de hojas (PFH). Las plantas Sin HMA presentaron 15 % más peso fresco de hojas que las plantas inoculadas con el consorcio Cecytem y presentaron diferencias estadísticas.

Las plantas en suelo presentaron valores mayores en crecimiento, que las plantas en sustrato. En el factor cultivar de maíz afectó todas las variables evaluadas. En pesos frescos y secos de hojas y raíz, área foliar (AF), volumen de raíz (VR) y peso seco de tallo el cultivar criollo presentó valores superiores al cultivar híbrido, en peso fresco de tallo el comportamiento fue inverso.

La interacción de los factores HMA*Maíz generó un efecto significativo en peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR) y área foliar. En la variable de AF la interacción El anteojo-maíz híbrido alcanzó un AF de 1023.81 cm², la menor AF la presentó la interacción La Ciénega-Maíz criollo con 759.73 cm² y resultaron diferentes estadísticamente. Este resultado difiere por los reportados por Sánchez et al. (2011), quienes encontraron que maíces criollos presentaron un AF hasta un 55 % mayor que maíces híbridos. La interacción Maíz-Medio de crecimiento generó efecto sobre todas las variables a excepción de volumen de raíz.

Cuadro 5. Análisis factorial de área foliar, volumen de raíz, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz a los 61 DDT¹.

	Peso Fresco			Área	Vol.	Peso Seco		
	Hojas	Tallo	Raíz	Foliar	Raíz	Hojas	Tallo	Raíz
Factor A: HMA								
EA	73.6 a	55.7 a	25.1 a	910.6 a	75.1 a	6.4 ab	6.1 a	4.2 a
LC	65.8 ab	50.6 a	23.4 a	863.3 a	67.6 a	5.8 ab	5.7 a	4.1 a
EL	67.4 ab	51.8a	25.5 a	922.6 a	69.5 a	6.2 ab	7.2 a	4.3 a
Ce	63.0 b	53.3 a	22.7 a	831.1 a	66.4 a	5.3 b	5.4 a	3.7 a
ES	66.7 ab	57.7 a	23.9 a	852.9 a	68.7 a	5.8 ab	6.4 a	4.3 a
En	67.8 ab	54.8 a	24.3 a	878.1 a	68.8 a	5.7 ab	5.6 a	4.2 a
SH	73.7 a	54.5 a	23.4 a	845.2 a	72.2 a	6.8 a	6.3 a	4.0 a
Factor B: Medio de crecimiento								
Sustrato	42.9 b	20.5 b	11.7 b	479.5 b	42.6 b	3.1 b	1.4 b	0.8 b
Suelo	93.7 a	87.7 a	36.3 a	1264 a	96.9 a	8.9 a	10.8 a	7.4 a
Factor C: Maíz								
Criollo	65.1 b	66.9 a	23.3 b	818.5 b	67.1 b	5.9 a	7.3 a	3.9 b
Hibrido	71.5 a	41.2 b	24.8 a	925.4 a	72.4 a	6.1 a	4.9 b	4.3 a
Interacción A*B								
Valor de P	0.365	0.128	0.281	0.730	0.122	0.302	0.362	0.355
Interacción A*C								
Valor de P	0.671	0.071	0.000*	0.004*	0.958	0.055	0.072	0.002 *
Interacción B*C								
Valor de P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.714	0.190	0.001*	0.000*
Interacción A*B*C								
Valor de P	0.988	0.006*	0.023*	0.026*	0.307	0.360	0.069	0.008*

EA= El Anteojo, LC= La Ciénega, EL= El Llano, Ce= Cecytem, ES= El Secano, En= Endomic, SH= Sin HMA. Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). Para las interacciones los valores de P menores a 0.05 prueban un efecto estadístico entre factores. ¹ Días después del trasplante.

Peña et al. (2006) en experimentos de producción de maíz forrajero reportaron que algunos híbridos de maíz presentan portes bajos y reducida área foliar, en relación a maíces criollos que pueden ser de porte alto (Herrera *et al.*, 2004), debido a estas diferencias fenológicas se realizó el análisis de las variables entre cultivares de maíz (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz criollo a los 61 DDT¹.

Medio de crecimiento	HMA	Peso Fresco			Área Foliar	Vol. Raíz	Peso Seco		
		Hojas	Tallo	Raíz			Hojas	Tallo	Raíz
sustrato	EA	51.8 b	28.1 c	12.5 c	528.1 b	51.2 b	3.7 c	1.9 c	0.9 b
	LC	39.1 b	30.2 c	12.2 c	500.9 b	34.4 b	2.8 c	2.1 c	0.9 b
	EL	44.1 b	25.7 c	12.8 c	512.1 b	45.6 b	3.1 c	1.8 c	0.9 b
	Ce	35.8 b	22.2 c	10.9 c	425.5 b	34.0 b	2.5 c	1.6 c	0.8 b
	ES	39.3 b	23.8 c	13.3 c	519.5 b	28.2 b	2.8 c	1.7 c	0.9 b
	En	46.5 b	28.9 c	15.1 c	583.3 b	39.4 b	3.3 c	2.0 c	1.0 b
	SH	51.6 b	31.5 c	13.9 c	547.4 b	49.6 b	3.7 c	2.2 c	0.9 b
Suelo	EA	86.4 a	98.7 ab	32.8 ab	1022.9 a	93.3 a	7.9 b	9.8 b	6.9 a
	LC	83.9 a	103.5ab	32.9 ab	1066.7 a	94.7 a	8.8 b	11.3 ab	6.6 a
	EL	83.3 a	87.9 b	30.6 b	1018.5 a	97.2 a	7.9 b	9.7 b	6.4 a
	Ce	88.1 a	116.9 a	33.9 ab	1144.4 a	86.9 a	9.3 ab	16.6 a	6.8 a
	ES	81.5 a	109.8ab	33.2 ab	1158.7 a	89.3 a	8.1 b	13.1 ab	6.8 a
	En	86.8 a	112.7 a	35.1 ab	1233.4 a	102.0 a	8.0 b	13.9 ab	7.6 a
	SH	93.5 a	116.4 a	36.2 a	1197.9 a	93.9 a	11.3 a	14.8 ab	7.7 a

EA= El Anteojo, LC= La Ciénega, EL= El Llano, Ce= Cecytem, ES= El Secano, En= Endomic, SH= Sin HMA. Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Los maíces cultivados en suelo presentaron los mayores valores en las variables de crecimiento que los maíces en sustrato. Sin embargo la respuesta fue modulada por el tipo de consorcio inoculado, pero solo cuando el maíz fue

cultivado en suelo. Maíces cultivados en sustrato no mostraron diferencias entre los diferentes niveles de HMA en todas las variables de crecimiento evaluadas. En las plantas en suelo, las variables de peso fresco de hojas, área foliar, volumen de raíz y peso seco de raíz no mostraron diferencias entre los diferentes niveles de HMA. Para la variable de peso fresco de tallo (PFT) en plantas sin inocular en suelo presentaron el valor más alto con 116.4 g, el consorcio El Llano presentó un PFT menor en un 32 % con 87.9 g. Plantas Sin HMA presentaron un PFR de 36.2 g por 30.6 g de plantas con el consorcio El Llano. En peso seco de hojas las plantas sin inocular presentaron los valores más altos con 11.3 g (Fig. 16).

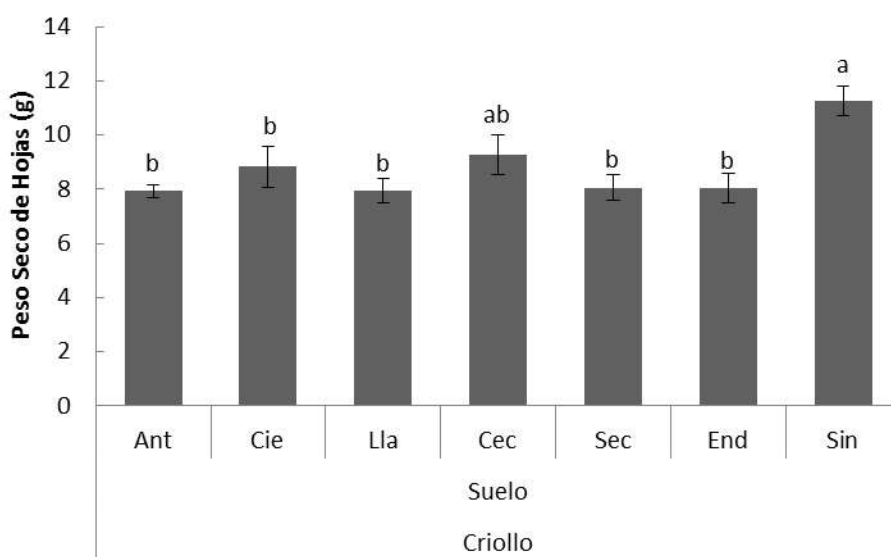


Figura 16. Peso seco de hojas de maíz criollo en suelo a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0.05$). ¹ Días después del trasplante.

En Peso seco de tallo el consorcio Cecytem con 16.6 g fue el valor más alto (Fig. 17). Gange y Ayres (1999) mencionan que las especies vegetales responden de manera diferente al nivel de colonización micorrízica y que en cierto nivel de micorrización tienden a declinar los beneficios de la simbiosis micorrízica e incluso ser un efecto negativo. En la mayoría de las variables de las plantas sin HMA presentaron valores superiores a tratamientos con HMA, al respecto Valerio (2016) encontró que si el gasto de carbono para mantener la simbiosis micorrízica es

mayor que el beneficio de la nutrición mineral el crecimiento vegetal se verá afectado. Los efectos positivos promoción de crecimiento vegetal serán útiles solo cuando el P sea el factor limitante y no el carbono (Zhu *et al.*, 2005).

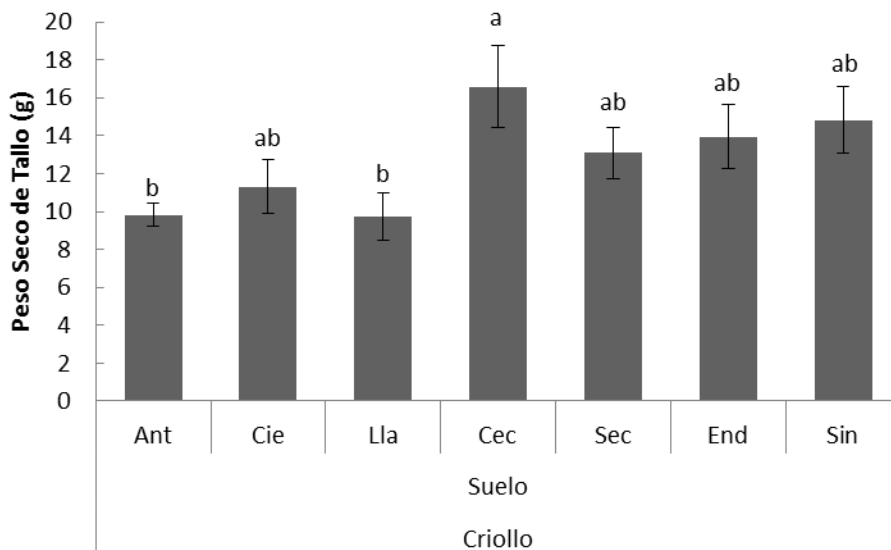


Figura 17. Peso seco de tallo en maíz criollo a los 61 DDT¹ entre tratamientos. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

Al igual que en maíces criollos, maíces cultivados en sustrato no mostraron diferencias entre los distintos niveles de HMA en todas las variables. No se mostraron diferencias en peso fresco y seco de hojas y volumen de raíz en maíz híbrido en suelo. En la variable de peso fresco de tallo (PFT) en plantas en suelo el consorcio La Ciénega presentó el valor más alto con 75.5 g, plantas sin HMA presentaron un PFT menor en un 34% con 56.3 g y fueron diferentes estadísticamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz híbrido a los 61 DDT¹.

Medio de crecimiento	de HMA	Peso Fresco			Área Foliar	Vol. Raíz	Peso Seco		
		Hojas	Tallo	Raíz			Hojas	Tallo	Raíz
Sustrato	EA	53.1 b	18.8 c	13.7 d	535.2 c	51.3 b	3.8 b	1.3 c	0.9 c
	LC	41.7 b	13.5 c	10.4 d	438.6 c	41.5 b	2.9 b	0.9 c	0.7 c
	EL	39.8 b	13.0 c	10.8 d	470.5 c	48.0 b	2.8 b	0.9 c	0.8 c
	Ce	35.9 b	12.4 c	9.3 d	412.2 c	42.0 b	2.6 b	0.9 c	0.6 c
	ES	36.9 b	10.9 c	8.8 d	391.5 c	42.0 b	2.6 b	0.8 c	0.6 c
	En	43.5 b	13.2 c	9.7 d	424.0 c	45.6 b	3.1 b	0.9 c	0.7 c
	SH	41.3 b	14.7 c	10.9 d	432.7 c	39.5 b	2.9 b	1.0 c	0.8 c
Suelo	EA	105 a	72.3 ab	41.4 ab	1512 ab	103.1 a	9.5 a	9.9 a	8.4 a
	LC	99.1 a	75.5 a	40.4 ab	1495 ab	97.4 a	9.7 a	10.1 a	8.3 a
	EL	97.7 a	75.2 a	44.4 a	1563 a	97.6 a	9.6 a	9.7 a	8.7 a
	Ce	98.8 a	57.9 b	37.4 bc	1327 ab	100.2 a	8.1 a	6.2 b	6.7 b
	ES	103 a	71.9 ab	38.1 abc	1267 ab	102.4 a	9.6 a	9.4 ab	8.2 a
	En	96 a	72.1 ab	39.5 ab	1492 ab	93.9 a	8.7 a	9.5 a	8.3 a
	SH	106 a	56.2 b	32.8 c	1200 b	105.1 a	9.1 a	7.2 ab	6.7 b

EA= El Anteojo, LC= La Ciénega, EL= El Llano, Ce= Cecytem, ES= El Secano, En= Endomic, SH= Sin HMA. Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Este resultado concuerda con lo reportado por Islas et al. (2014), al encontrar que plantas de maíz micorrizadas con consorcios nativos presentaron valores más altos de biomasa aérea que plantas sin HMA. Plantas con el consorcio El Llano fueron diferentes estadísticamente a plantas sin HMA en PFR con un valor 34 % mayor que plantas sin HMA.

En la variable de AF, el consorcio El Llano alcanzó una media de 1563.3 cm² superando un 30 % a plantas sin HMA con 1200.7 cm² (Fig. 18).

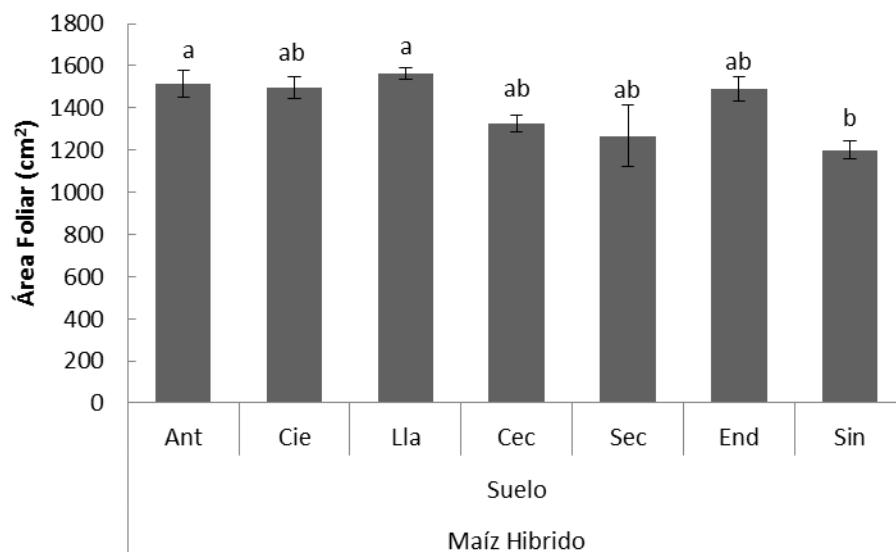


Figura 18. Área foliar de maíz híbrido en suelo a los 61 DDT¹ entre tratamientos. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

En peso seco de tallo el plantas con el consorcio la Ciénega con 10.1 g fue diferente estadísticamente y superior un 62% que plantas con el consorcio Cecytem (Fig. 19).

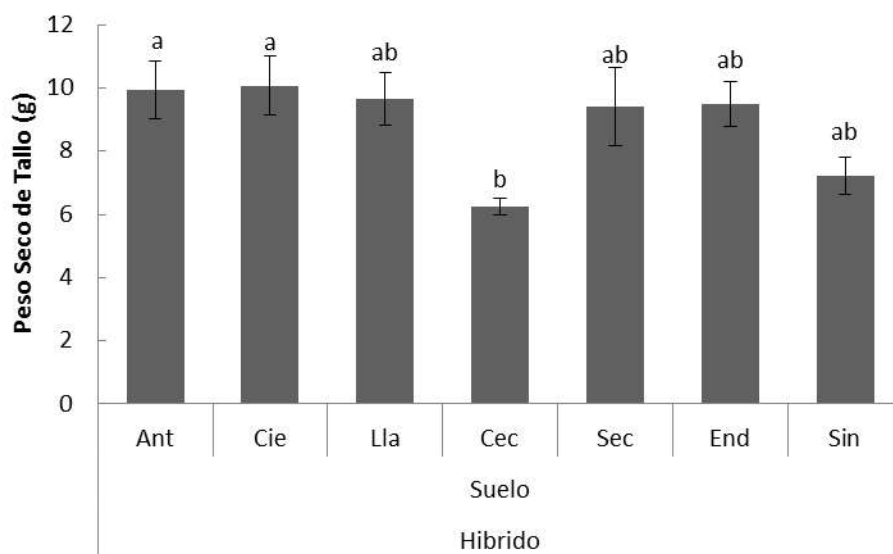


Figura 19. Peso Seco de Tallo de maíz híbrido en suelo a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

Plantas con el consorcio El Llano presentaron un peso seco de raíz un 30% mayor que plantas sin HMA (Fig. 20).

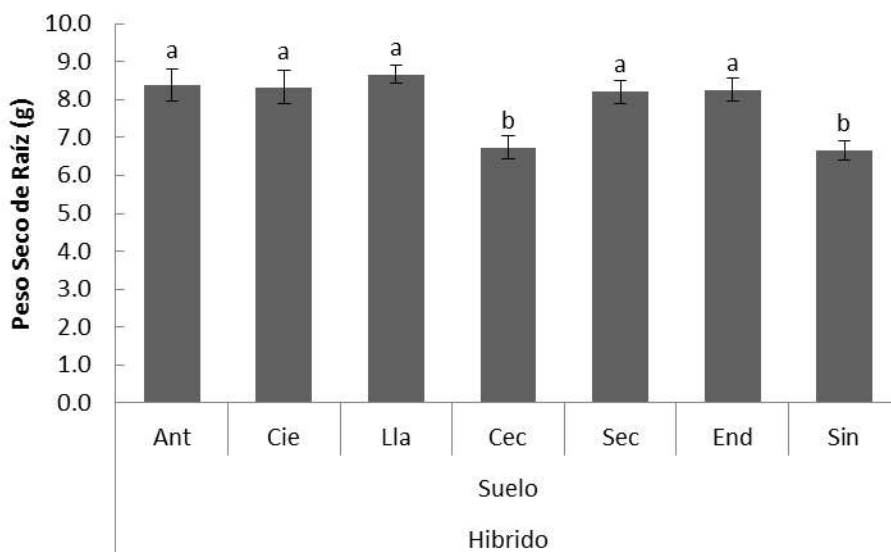


Figura 20. Peso Seco de Raíz en maíz híbrido a los 61 DDT¹ entre tratamientos. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

Variables microbiológicas

En los tres factores se observaron diferencias en el No. de esporas en 100 g⁻¹ de sustrato (NE) y % de Colonización Micorrízica (CM) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis factorial y de interacción de número de esporas en 100 g⁻¹ de sustrato y Colonización micorrízica (%) a los 61 DDT¹

	Esporas en 100 g ⁻¹ de sustrato	Colonización micorrízica (%)
Factor A: HMA		
El Anteojo	283 a	70.7 bc
La Ciénega	277 a	75.0 b
El Llano	258 ab	88.5 a
Cecytem	216 bc	71.3 bc
El Secano	179 c	68.2 c
Endomic	276 a	57.8 d
Sin HMA	192 c	39.7 e
Factor B: Medio de Crecimiento		
Sustrato	149 b	48.9 b
Suelo	331 a	85.7 a
Factor C: HMA		
Criollo	232 a	73.1 a
Hibrido	247 a	61.5 b
Interacción A*B		
Valor de P	0.000*	0.000*
Interacción A*C		
Valor de P	0.011*	0.000*
Interacción B*C		
Valor de P	0.047*	0.000*
Interacción A*B*C		
Valor de P	0.000*	0.000*

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

El número de esporas en los suelos de los cultivares de maíz no presentó diferencias estadísticas y fue mayor en el cultivar híbrido con una concentración de 247 esporas y en el cultivar criollo se contabilizaron 232 esporas. La coonización micorrízica fue mayor en el maíz criollo con 73.1 % que en el maíz híbrido con 61.5 %. Sangabriel *et al.* (2014) encontraron que maíces criollos presentaban niveles de colonización más altos que maíces híbridos. El NE fue mayor en suelo donde se contabilizaron 331 esporas y menor en sustrato con 149 esporas. El número de esporas se incrementó en un 100 % en suelo que en sustrato. De forma natural el medio de crecimiento suelo presentaba una densidad de 50 esporas en 100 g⁻¹ de suelo. El consorcio El Anteojo presentó 283 esporas en 100 g⁻¹ de sustrato, en plantas con el tratamiento El Secano se contabilizó el menor número de esporas con 179 esporas. Plantas con el consorcio El Llano (EL) fueron las de mayor colonización micorrízica con un 88.5 %, las plantas Sin HMA presentaron 39.7 % de colonización.

En la figura 21 se muestran raíces de plantas de maíz teñidas en donde se aprecia la colonización a los 61 DDT, se pueden observar hifas del micelio intraradical y extraradical, vesículas, esporas y arbúsculos.



Figura 21. Colonización de HMA en raíces de maíz a los 61 DDT¹. 1: hifas de micelio intraradical, 2: vesículas, 3: arbúsculos. ¹ Días después del trasplante.

Se presentó interacción entre todos los factores en ambas variables. En número de esporas del inoculo comercial Endomic en suelo mostró los valores más altos con 420 esporas y en la interacción sin inocular en sustrato no se contabilizaron esporas (Fig. 22).

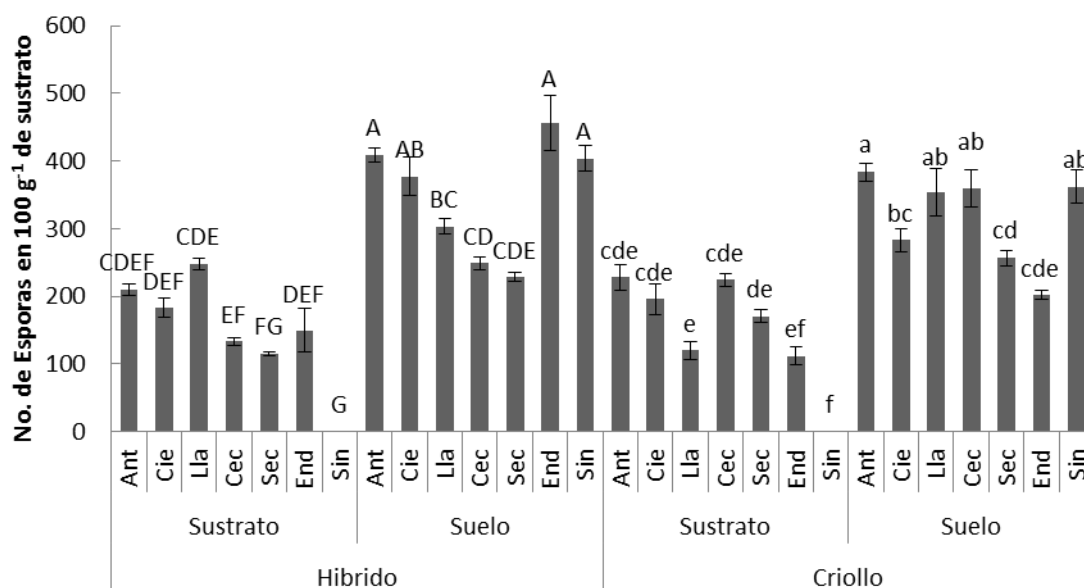


Figura 22. Número de esporas en 100 g⁻¹ de sustrato o suelo a los 61 DDT¹ entre tratamientos. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

En la colonización micorrízica el consorcio El Llano presentó en ambos medios de crecimiento los valores más altos con 82.7 % en sustrato y 94.3% en suelo. En la interacción HMA-Maíz El Llano presentó los valores más altos de colonización con 89.9 % en maíz criollo y 87.0 % en maíz híbrido (Fig.23). Feddermann et al. (2010), mencionan que diferentes combinaciones de planta huésped y HMA tienen diferentes impactos en la morfología, el estado nutricional, la eficiencia simbiótica y los patrones de expresión génica en la simbiosis. Ortas y Akpinar (2011), encontraron que los niveles de colonización micorrízica variaban en función de la combinación del genotipo de maíz y la especie de HMA.

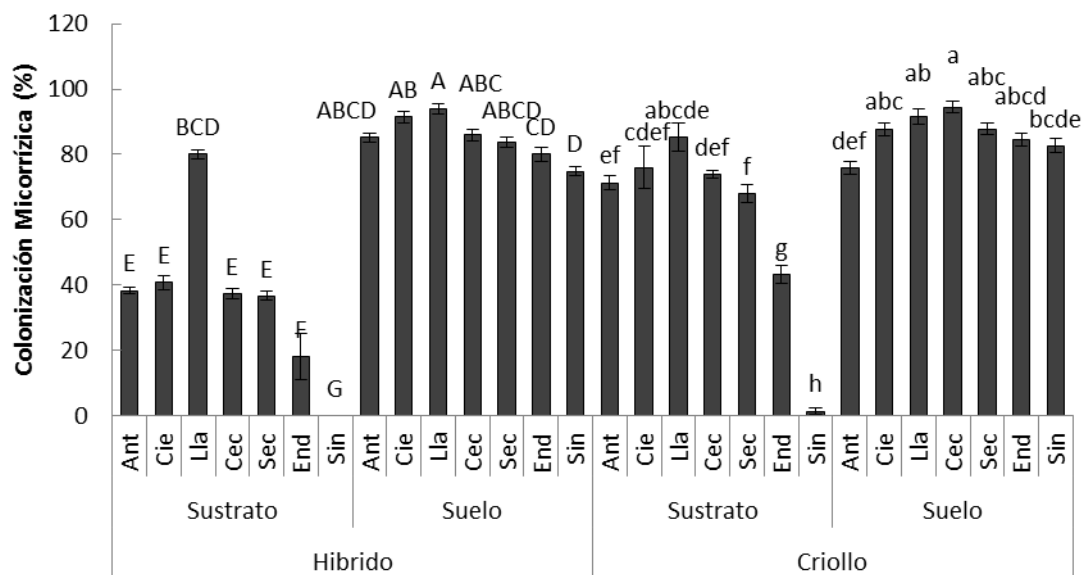


Figura 23. Colonización micorrízica (%) a los 61 DDT¹ entre tratamientos. Las barras indican el error estándar. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

5.3.6 Conclusión

Se observó una diferencia en la promoción de crecimiento a los 61 días después del trasplante en función del cultivar de maíz (criollo e híbrido) y el medio de crecimiento (sustrato y suelo). Las plantas de maíz criollo crecieron más que plantas de maíz híbrido.

Las plantas de ambos maíces presentaron mayores valores en todas las variables en suelo que en sustrato. EL consorcio El Llano presentó índices de colonización superiores en suelo a 90 % y en sustrato a 80 %. En sustrato el comportamiento en las variables de crecimientos fue similar en ambos cultivares de maíz inoculadas y sin inocular.

Las plantas de maíz criollo sin HMA trasplantadas a sustrato presentaron valores superiores que las plantas inoculadas. En maíz criollo en suelo plantas sin HMA presentaron los valores más bajos en las variables de crecimiento.

El funcionamiento más favorable de los consorcios nativos en suelo que en sustrato pudo deberse a dos factores el primero: el suelo poseía características fisicoquímicas similares al lugar de origen de los consorcios además el nivel de concentración de nutrientes era mayor en el suelo que en el sustrato.

5.3.7 Literatura citada

- Armenta, B.A.D., C. García G., J.R. Camacho B., M.A. Apodaca S., L.G. Montoya, E. Nava P. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhal. Universidad Autónoma Indígena de México. 6: 51-56.
- Ayala-Sánchez A., L.K. Rishnamurthy y J.A. Basulto-Graniel. (2009). Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. Terra Latinoamericana 27: 63-69
- Bethlenfalvay G.J. y R.G. Linderman. (1992). Micorrhizae in sustainable agricultura. ASA. Especial Publication, Madison, Wisconsin. 124 p.
- Bonfante, P., y Desirò, A. (2015). Arbuscular mycorrhizas: the lives of beneficial fungi and their plant hosts. In Principles of plant-microbe interactions (pp. 235-245). Springer, Cham.
- Feddermann, N., Finlay, R., Boller, T., y Elfstrand, M. (2010). Functional diversity in arbuscular mycorrhiza—the role of gene expression, phosphorous nutrition and symbiotic efficiency. Fungal Ecology, 3(1), 1-8.
- Gange, A. C., y Ayres, R. L. (1999). On the relation between arbuscular mycorrhizal colonization and plant'benefit'. Oikos, 615-621.
- Garrido, E., Bennett, A. E., Fornoni, J., & Strauss, S. Y. (2010). The dark side of the mycorrhiza. Plant signaling & behavior, 5(8), 1019-1021.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological society, 46(2), 235-244.

- Gosling P.A., Hodge, G. Goodlas y G.D. Bending. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 17-35.
- Herrera Cabrera, B. E., Castillo González, F., Sánchez González, J. J., Hernández Casillas, J. M., Ortega Pazkca, R. A., y Major Goodman, M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*, 38(2).
- Islas, A. J. T., Eyherabide, M., Echeverría, H. E., Rozas, H. R. S., & Covacevich, F. (2014). Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrícicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. *Revista argentina de microbiología*, 46(2), 133-143.
- Ortas, I., & Akpinar, Ç. (2011). Response of maize genotypes to several mycorrhizal inoculums in terms of plant growth, nutrient uptake and spore production. *Journal of plant nutrition*, 34(7), 970-987.
- Peña Ramos, A., González Castañeda, F., Núñez Hernández, G., Tovar Gómez, M. D. R., Preciado Ortiz, R. E., Terrón Ibarra, A., y Ortega Corona, A. (2006). Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(Es2).
- Quiñones-Aguilar, E. E., Montoya-Martínez, A. C., Rincón-Enriquez, G., Lobit, P., y López-Pérez, L. (2016). Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(4), 1052-1064.
- Sánchez-Hernández, M. Á., Aguilar-Martínez, C. U., Valenzuela-Jiménez, N., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C., & Villanueva-Verduzco, C. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía mesoamericana*, 22(2), 281-295.

- Sangabriel-Conde, W., Negrete-Yankelevich, S., Maldonado-Mendoza, I. E., & Trejo-Aguilar, D. (2014). Native maize landraces from Los Tuxtlas, Mexico show varying mycorrhizal dependency for P uptake. *Biology and fertility of soils*, 50(2), 405-414.
- Schubler A., D. Schwarzott y C. Walker. (2001). A new fungal phylum. The Glomeromycota, phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105:1413-1421
- Sharma D., Kapoor R., Bhatnagar A.K. (2009). Differential growth response of *Curculigo orchioides* to native arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities varying in number and fungal components. *European journal of soil Biology*. 45:328-333
- Statgraphics (2005) StatGraphics Centurion: ver. XV (User manual). Stat-Point, Inc. USA. 380 p.
- Toro, M., Bazó, I., & López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*. 58(3), 215-221.
- Valerio L.S.D. (2016). Respuesta morfo/fisiológica y expresión de genes Pht1 de cuatro cultivares de *Zea mays* L. inoculados con hongos micorrízicos arbusculares bajo dos concentraciones de fósforo inorgánico. Tesis de maestría. CIBNOR.
- Vierheilig, H.; Coughlan, A. P.; Wyss, U.; Piché, Y.(1998) Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*. vol. 64, pp. 5004-5007. ISSN: 1098-5336.
- Zhu, J., Kaeppler, S. M., y Lynch, J. P. (2005). Topsoil foraging and phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays*). *Functional Plant Biology*, 32(8), 749-762.

5.4. INTERACCION DE CONSORCIOS NATIVOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Y GALLINA CIEGA EN PLANTAS DE MAÍZ

5.4.1 Resumen

En este estudio, se evaluaron las interacciones entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos y larvas de *Phyllophaga* spp. en plantas de maíz en condiciones de invernadero. El experimento tuvo un diseño factorial con tres factores: variedad de maíz (criollo e híbrido), HMA (2 consorcios nativos, ENDOMIC y un control sin HMA) y *Phyllophaga* spp. (Con y sin). Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones. En ambos maíces la presencia de micorrizas no afectó la rizofagia de las larvas. El consorcio La Ciénega presentó una mortalidad de larvas del 70 %. La presencia o ausencia de larvas no afectó las variables de crecimiento de planta y microbiológicas en ningún tratamiento. Las plantas de maíz criollo presentaron porcentajes de colonización micorrízica 20 % superiores que las plantas de maíz híbrido. Los consorcios nativos presentaron una colonización micorrízica hasta un 100 % mayor que el tratamiento Endomic. En la variable número de esporas se contabilizaron más esporas en plantas de maíz híbrido que en maíz criollo. En conclusión no se presentó un efecto de bioprotección de los consorcios nativos en plantas de maíz ante la rizofagia por larvas de *Phyllophaga* spp. Las plantas inoculadas con los consorcios nativos presentaron un menor crecimiento en ambos maíces.

Palabras clave: *Melolonthidae*, biofertilizante, bioprotección, *Zea mays*.

Interaction of native consortia of arbuscular mycorrhizal fungi and white grub in corn plants

5.4.2 Abstract

In this study, the interactions between native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and larvae of *Phyllophaga* spp. in corn plants under greenhouse conditions. The experiment had a factorial design with three factors: corn variety (creole and

hybrid), HMA (2 native consortiums, ENDOMIC and a control without AMF) and *Phyllophaga* spp. (with and without). Each treatment had nine repetitions. In both maize the presence of mycorrhizae did not affect the rhizophagia of the larvae. The La Ciénega consortium showed a larval mortality of 70%. The presence or absence of larvae did not affect the plant growth and microbiological variables in any treatment. Creole maize plants had percentages of mycorrhizal colonization 20% higher than hybrid corn plants. The native consortiums presented a mycorrhizal colonization up to 100% higher than the Endomic treatment. In the variable number of spores, more spores were recorded in hybrid corn plants than in Creole corn. In conclusion, there was no bioprotective effect of the native consortiums in maize plants against rhizophagy by *Phyllophaga* spp. Larvae. The plants inoculated with the native consortiums presented a lower growth with both maizes.

Key words: *Melolonthidae*, biofertilizer, bioprotection, *Zea mays*.

5.4.3 Introducción

Las plagas rizófagas pueden ocasionar perdidas en el cultivo del maíz, en cantidades que llegan hasta 976 kg ha⁻¹ anualmente. Si no se realiza un control apropiado y en tiempo los daños causados por estas plagas, tienden a incrementarse año tras año. La intensidad del daño causado por estas plagas rizófagas puede aumentar por factores físicos y biológicos así como el manejo de la producción (Perez-Agis *et al.*, 2014). Estas plagas rizófagas que afectan el maíz son estadios larvarios de insectos pertenecientes a la familia *Melolonthidae*. Los géneros *Phyllophaga*, *Cyclocephala* y *Anomala* son los que ocasionan un mayor daño (Morón, 2003). Acorde a la oferta alimenticia y las condiciones de vida muchas de estas especies pueden hacer de la rizofagia un hábito alimenticio más facultativo (Morón, 2010). Generalmente se emplean productos químicos sintéticos para el control de estas plagas rizófagas, los cuales producen contaminación de suelos, cuerpos de agua y el medio ambiente afectando la salud humana. Ante esta problemática es necesario buscar alternativas que nos permitan controlar las

plagas rizófagas sin ocasionar contaminación. Una opción para el control de estas plagas es la utilización de microorganismos benéficos. Entre estos microorganismos se encuentran los hongos formadores de micorrizas que incrementan en plantas la resistencia al ataque de plagas y enfermedades (Bashan *et al.*, 2012) entre otros beneficios.

Al cohabitar e interactuar con el mismo órgano de la planta, las plagas rizófagas y los HMA debería de existir una presión de selección por parte de los HMA que brinden una bioprotección efectiva con insectos rizófagos (Johnson *et al.*, 2016). Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron dos consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos como bioprotectores de plantas de maíz contra gallina ciega en condiciones de invernadero.

5.4.4 Materiales y métodos

5.4.4.1 Material vegetal

Se empleó una variedad de maíz criollo “Blanco”, procedente de la localidad de Tejocote Polvillas del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán y otra híbrida. Las semillas se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de Tween 80 al 0.05 % durante tres minutos en agitación constante, se enjuagaron con agua corriente y se introdujeron en un alcohol al 70 % durante tres minutos manteniéndolas en agitación, se enjuagaron con agua corriente y se depositaron en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % durante veinte minutos en agitación, finalmente se lavaron con agua destilada estéril hasta eliminar el olor a hipoclorito de sodio. Se acomodaron sobre toallas de papel estériles y humedecidas con agua destilada dentro de charolas de aluminio, se cubrieron con plástico transparente para mantener la humedad en las toallas de papel y se depositaron en una germinadora a una temperatura constante de 26 °C en periodos de 12 horas de oscuridad durante cinco días.

5.4.4.2 Inóculos de HMA

Se utilizaron los consorcios micorrízicos nativos El Llano y La Ciénega, el producto comercial Endomic y un testigo que contenía un filtrado del sustrato después de extraer las esporas de HMA de cada uno de los consorcios nativos y el producto comercial.

5.4.4.3 Larvas de *Phyllophaga* spp.

Se colectaron gallinas ciegas en cultivos de maíz en predios del ejido de Cantabria en Zacapu, Michoacán. Estas se almacenaron en contenedores plásticos individuales con turba y alimentadas con zanahoria hasta su uso. Se identificaron con base en las claves dicotómicas especializadas de Aragón y Morón (2004).

5.4.4.4 Diseño experimental

Para el presente experimento se aplicó un diseño multifactorial mixto 2X4X2 completamente al azar. Los factores fueron: variedad de maíz con dos niveles: semilla de maíz criollo y una semilla híbrida; el factor hongos micorrízicos arbusculares con cuatro niveles (La Ciénega, El Llano, Endomic y un control sin HMA) y el factor larvas con dos niveles (presencia o ausencia de larvas).

5.4.4.5 Establecimiento del experimento

Las plántulas se trasplantaron a macetas con 1.5 kilogramos de sustrato estéril (arena-agrolita 2:1 v/v). Se inocularon directamente al sistema radical con 80 esporas de HMA contenidas en una cantidad determinada de sustrato. Se realizaron riegos constantes para mantener la maceta a capacidad de campo. A partir de la sexta semana se aplicaron 200 mL de solución de Hoagland con P al 25%. A los 35 días después del trasplante, se depositaron cinco larvas sobre el sustrato en cada unidad experimental.

5.4.4.6 Variables evaluadas

Como variables de bioprotección se evaluó la biomasa de las larvas pesándolas en una balanza analítica. La mortalidad de las larvas se determinó por la observación de los individuos muertos.

Como variables de crecimiento vegetativo se registró la altura de planta, diámetro de tallo, volumen de la raíz y peso fresco y seco de raíz, tallo y hojas.

Como variables microbiológicas se determinó el porcentaje de micorrización y la número de esporas por gramo de sustrato.

5.4.4.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y para determinar diferencias estadísticas entre medias se utilizó la prueba múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico Statgraphics XV (2005). Para realizar el análisis de la variable de PF de tallo se transformaron los datos para cumplir con el supuesto de varianza.

5.4.5 Resultados y discusión

Mortalidad de larvas

Al momento de la cosecha se contabilizaron las larvas muertas. En esta variable los resultados mostraron que en maíz criollo las larvas que se depositaron en las macetas con el consorcio La Ciénega presentaron un mayor número de larvas muertas (4 larvas muertas), en relación a plantas sin HMA y con el inóculo comercial Endomic. En el maíz híbrido el consorcio La Ciénega se comportó de manera diferente a los demás tratamientos con un mayor número de larvas muertas (3 larvas muertas) (Fig. 23). No existieron diferencias en el número de larvas muertas entre variedad de maíz con el mismo inóculo micorrízico.

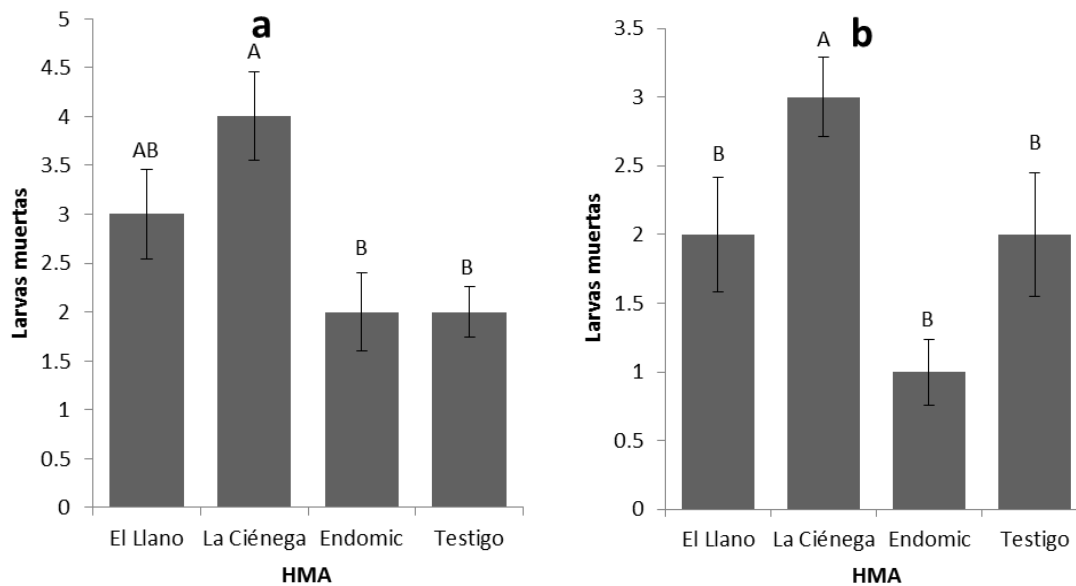


Figura 24. Número de larvas muertas en maíz Criollo “Blanco” (a) y maíz híbrido (b). Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P<0,05$).

Biomasa de larvas

En todos los tratamientos se presentó rizofagia. En maíz híbrido no se mostraron diferencias en la ganancia de biomasa de las larvas entre los distintos niveles de HMA. En el maíz criollo las larvas en plantas sin HMA presentaron una ganancia de biomasa mayor un 350% y estadísticamente diferente a larvas en plantas con el consorcio La Ciénega (Fig. 25). La presencia de micorrizas no afectó la rizofagia de larvas de *Phyllophaga* spp. Este resultado coincide por lo reportado por Zitlalpopoca et al. (2017) que encontraron que *Phyllophaga vetula* no modificó su rizofagia en plantas de maíz en presencia de micorrización. Los resultados encontrados en esta investigación difieren con los reportados por Frew et al. (2017), quienes encontraron la disminución de la rizofagia de *Dermolepida albohirtum* en plantas de caña de azúcar en plantas micorrizadas con respecto a las plantas sin micorrizar

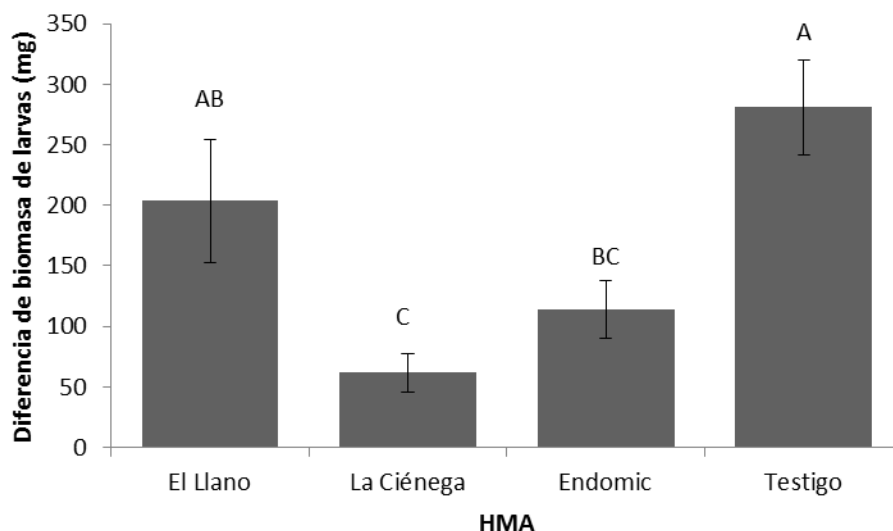


Figura 25. Biomasa de larvas en maíz criollo “Blanco”. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Duncan ($P < 0,05$).

En el maíz híbrido no se presentó efecto de los consorcios de HMA sobre la rizofagia. Las larvas en plantas sin HMA y las inoculadas con el consorcio El Llano presentaron un incremento en su biomasa de 131.7 mg y 102.2 mg respectivamente. Las larvas en plantas con el consorcio La Ciénega incrementaron su biomasa en 72.5 mg. Frew *et al.* (2016) encontraron que insectos rizófagos pueden aumentar el consumo de raíces micorrizadas debido a la presencia de los compuestos fenólicos que son nutricionalmente beneficiosos para estas plagas, y que les permite sustituir a la tirosina, utilizada para la esclerotización de la cutícula, con compuestos como el ácido gálico.

Altura de planta y Diámetro de tallo

A) Análisis factorial y de interacción de Altura de planta y Diámetro de tallo

Las plantas de maíz criollo presentaron una altura de 50% mayor que plantas de maíz híbrido (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis factorial de altura de planta y diámetro de tallo a los 61 DDT¹.

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Factor A: Maíz		
Criollo	31.2 a	10.7 b
Hibrido	20.7 b	12.0 a
Factor B: Larva		
Ausencia	25.7 a	10.9 b
Presencia	26.2 a	11.9 a
Factor C: HMA		
La Ciénega	24.7 bc	10.0 b
El Llano	22.8 c	9.8 b
Endomic	28.8 a	13.2 a
Sin HMA	27.5 ab	12.5 a
Interacción A*B		
Valor de P	0.428	0.246
Interacción A*C		
Valor de P	0.000*	0.000*
Interacción B*C		
Valor de P	0.060	0.794
Interacción A*B*C		
Valor de P	0.060	0.467

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). Para las interacciones los valores de P menores a 0.05 prueban un efecto estadístico entre factores. ¹ Días después del trasplante.

Un efecto contrario se observó en la variable de diámetro de tallo en el que plantas de maíz hibrido presentaron una media 1.12 veces mayor que el diámetro que alcanzaron plantas de maíz criollo y resultaron diferentes estadísticamente (Fig. 26b).

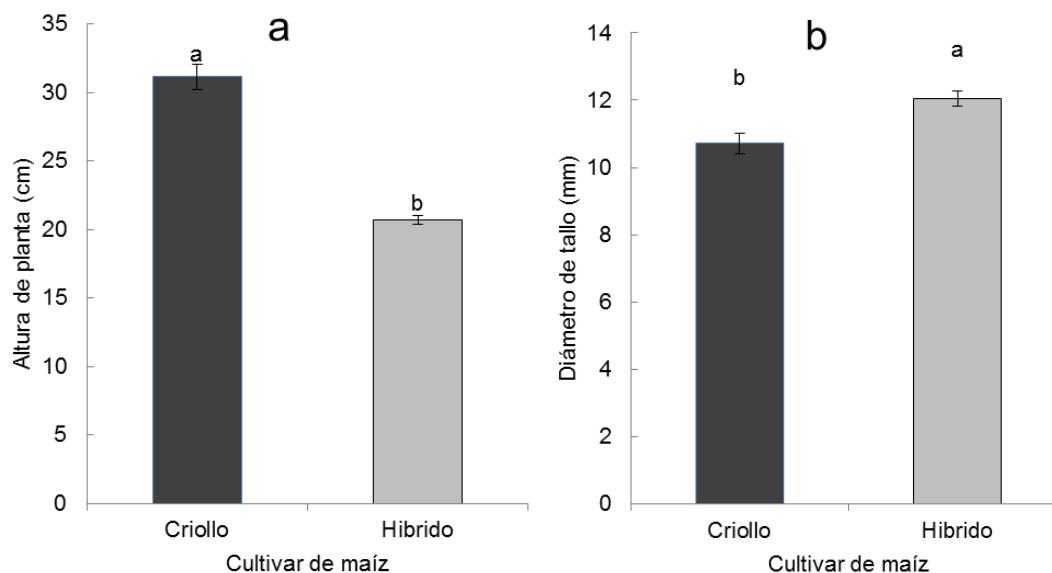


Figura 26. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT¹ para el factor cultivar de maíz. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

Las plantas con larvas mostraron diámetros de tallo de 11.9 mm y fueron mayores que en las plantas sin larvas (10.9 mm). La variable de altura de planta no presentó diferencias en presencia o ausencia de larvas. Este resultado difiere por lo encontrado por Zitlalpopoca et al. (2017) quienes reportan que la rizofagia de *Phyllophaga vetula* ocasionó una disminución del crecimiento en plantas de maíz.

Entre los niveles del factor HMA se observaron diferencias en ambas variables. Plantas de maíz inoculadas con el producto comercial Endomic presentaron la mayor altura de planta con 28.8 cm y las inoculadas con el consorcio El Llano la altura menor con 22.8 cm. Las plantas sin HMA con 12.5 mm y con inóculo Endomic con 13.2 mm observaron diámetros mayores que los consorcios nativos (Fig. 27).

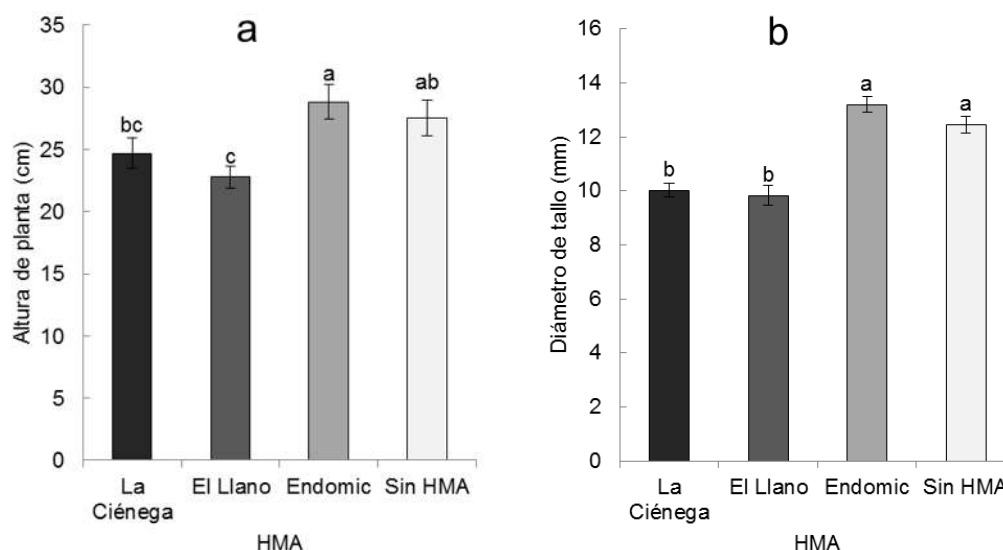


Figura 27. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT¹ para el factor HMA. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

La interacción de los factores Maíz*HMA generó un efecto significativo en ambas variables. Plantas de maíz criollo sin HMA y las inoculadas con Endomic presentaron la mayor altura de planta con 34.5 cm y 34.7 cm respectivamente. Las plantas de maíz híbrido con inóculo Endomic presentaron el mayor diámetro de tallo con 13.9 mm (Fig. 28).

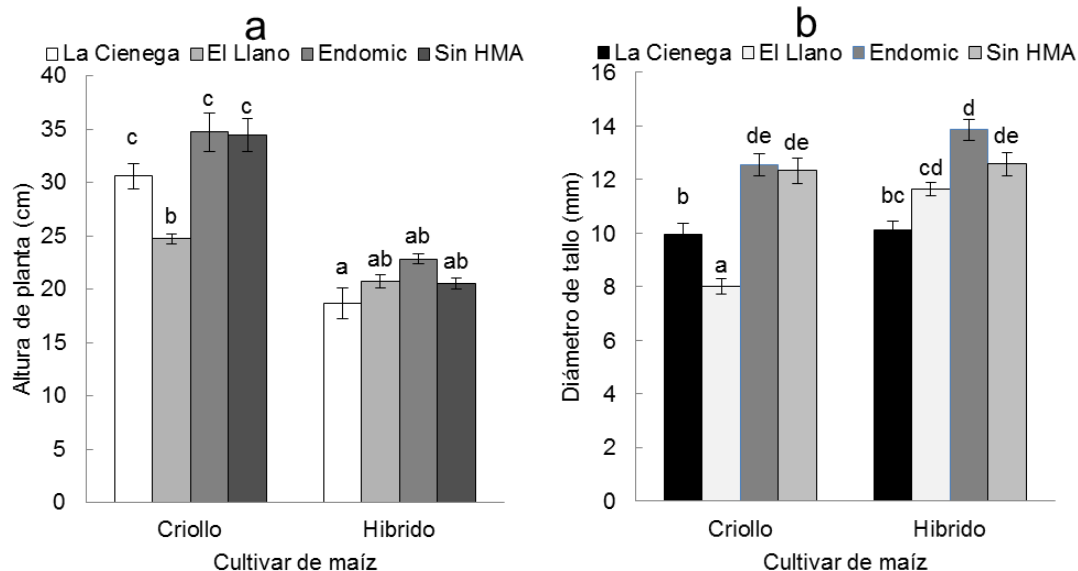


Figura 28. Altura de planta (a) y diámetro de tallo (b) a los 61 DDT¹ para la interacción de los factores cultivar de maíz y HMA. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

B) Altura de planta y Diámetro de tallo entre combinaciones de los factores HMA y larva

Por las diferencias en el porte de planta entre los dos cultivares, se realizó el análisis entre combinaciones de los factores HMA y larva por separado para cada cultivar con un total de ocho combinaciones para cada uno de ellos. En las plantas de maíz criollo con el consorcio El Llano sin larva se registró la menor altura con 22.6 cm y fueron diferentes estadísticamente a las plantas con el inóculo Endomic sin larva que mostraron una altura de 37.5 cm (Fig. 29). En la variable de diámetro, el inóculo Endomic sin larva presentó el valor más alto con 12.9 mm y el consorcio El Llano con larva con 7.2 mm fue el de menor diámetro y mostraron una diferencia estadística.

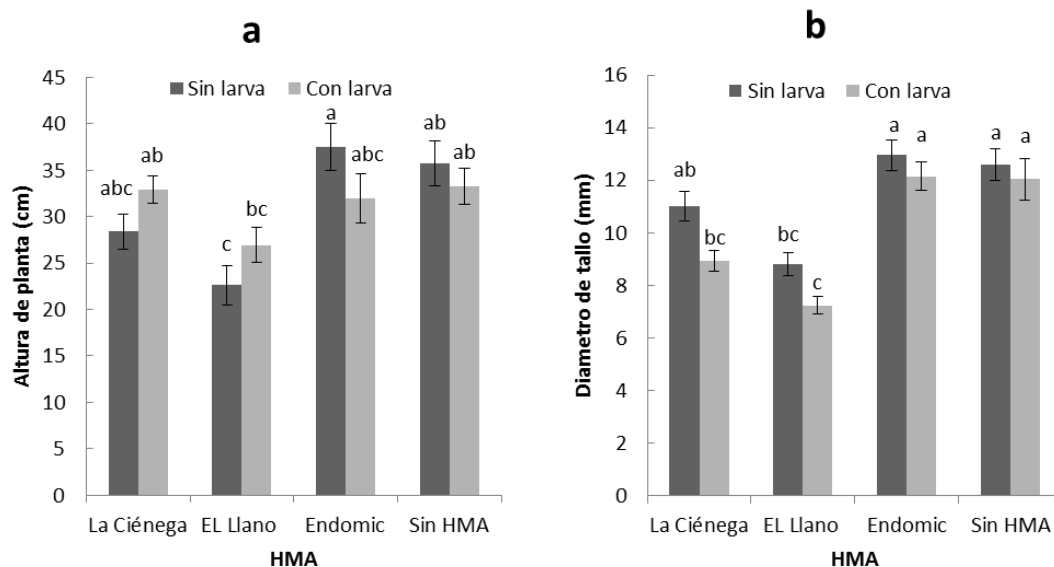


Figura 29. Altura de planta (a) y Diámetro de tallo (b) de maíz criollo a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$). ¹ Días después del trasplante.

Plantas de maíz híbrido con el inóculo comercial Endomic sin larva crecieron un 22% más que plantas con el consorcio La Ciénega y fueron estadísticamente diferentes (22.9 cm vs 18.5 cm). En la variable diámetro de tallo el tratamiento Endomic sin larva con 14.1 mm fue diferente estadísticamente a plantas con el consorcio La Ciénega con larva (9.8 mm) (Fig. 30).

En ambos maíces no se observaron diferencias en las plantas inoculadas con el mismo factor de HMA en ausencia o presencia de larva.

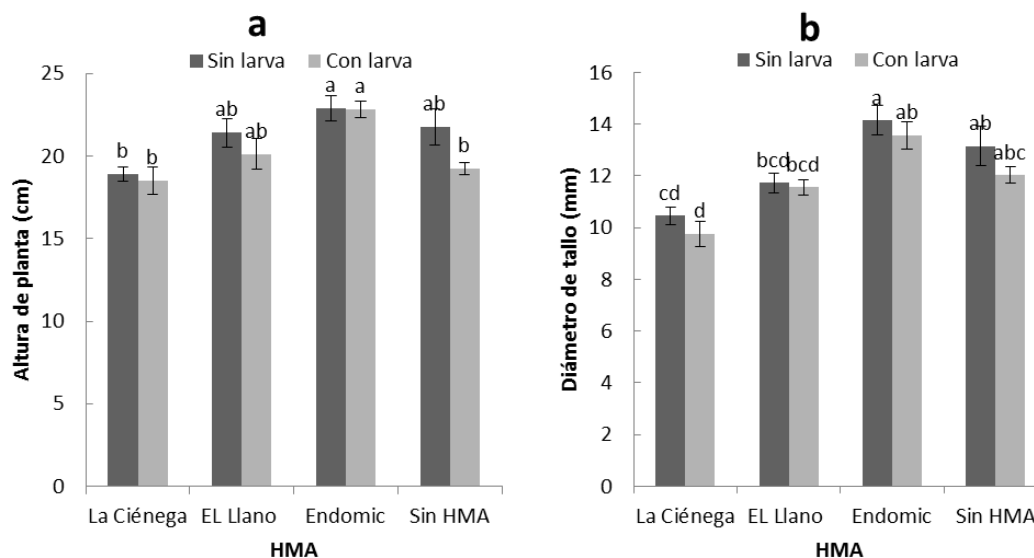


Figura 30. Altura de planta (a) y Diámetro de tallo de maíz híbrido a los 61 DDT¹. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Área Foliar, volumen de raíz y peso fresco y seco

A) Análisis multifactorial y de interacción de variables de Área Foliar, volumen de raíz y pesos frescos y secos

El peso fresco y seco de hojas y peso seco de tallo no mostraron diferencias estadísticas entre cultivares de maíz. En peso fresco de tallo el maíz criollo presentó un incremento del 40% con respecto al maíz híbrido. El maíz híbrido presentó un peso fresco de raíz 1.4 veces mayor que el maíz criollo. El área foliar que se encontró en el maíz híbrido fue superior en un 25% que la que se encontró en el maíz criollo. El maíz híbrido presentó un volumen de raíz un 14 % y un peso seco de raíz 36 % mayor que el encontrado en maíz criollo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis factorial de área foliar, volumen de raíz, pesos secos y frescos a los 61 DDT¹

Pesos frescos (g)			Área foliar (cm²)	Volumen de raíz (mm3)	Pesos secos (g)			
Hojas	Tallo	Raíz			Hojas	Tallo	Raíz	
Factor A: Maíz								
Criollo	12.5 a	27.1 a	38.5 b	407.9 b	41.3 b	2.8 a	3.0 a	2.5 b
Hibrido	12.9 a	19.2 b	44.7 a	512.0 a	47.2 a	3.2 a	2.6 a	3.4 a
Factor B: Larva								
Ausencia	13.6 a	24.6 a	44.4 a	493.4 a	45.5 a	3.2 a	2.6 b	3.1 a
Presencia	11.9 b	21.6 a	38.9 b	426.5 b	43.0 a	2.8 a	3.0 a	2.9 a
Factor C: HMA								
La Ciénega	8.7 b	15.6 b	28.6 b	320.9 b	32.8 b	2.3 b	2.0 b	2.1 b
El Llano	9.4 b	14.8 b	29.9 b	353.5 b	31.0 b	2.2 b	1.8 b	2.4 b
Endomic	16.3 a	31.1 a	53.6 a	576.3 a	53.2 a	3.7 a	3.9 a	3.6 a
Sin HMA	16.4 a	31.1 a	54.3 a	589.0 a	60.0 a	3.8 a	3.6 a	3.8 a
Interacción A*B								
Valor de P	0.663	0.942	0.483	0.907	0.568	0.646	0.988	0.348
Interacción A*C								
Valor de P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.002*	0.000*
Interacción B*C								
Valor de P	0.914	0.879	0.531	0.875	0.908	0.904	0.939	0.497
Interacción A*B*C								
Valor de P	0.887	0.550	0.839	0.879	0.185	0.864	0.481	0.576

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). Para las interacciones los valores de P menores a 0.05 prueban un efecto estadístico entre factores. ¹Días después del trasplante.

Para el caso del factor HMA en todas las variables las plantas con inóculo Endomic y sin HMA presentaron valores mayores que las plantas inoculadas con los consorcios nativos. La asociación de plantas con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se ha considerado un factor que aumenta la tolerancia de las plantas a la herbivoría por parte de insectos. Sin embargo, este efecto positivo podría disminuir con la densidad de colonización al cambiar la relación beneficio: costo de la asociación HMA-planta (Garrido *et al.*, 2010).

B) Área foliar, volumen de raíz, pesos secos y frescos

En la variable PF de hojas, plantas sin HMA sin larva con 19.9 g fueron mayores un 275% que plantas con el consorcio El Llano con larva que registraron un peso de 5.3 g (Fig. 31a). En PS de hojas el comportamiento fue similar, plantas sin HMA sin larva (4.3 g) fueron un 258 % mayor que plantas con el consorcio El Llano con larva que mostraron 1.2 g (Fig. 31b).

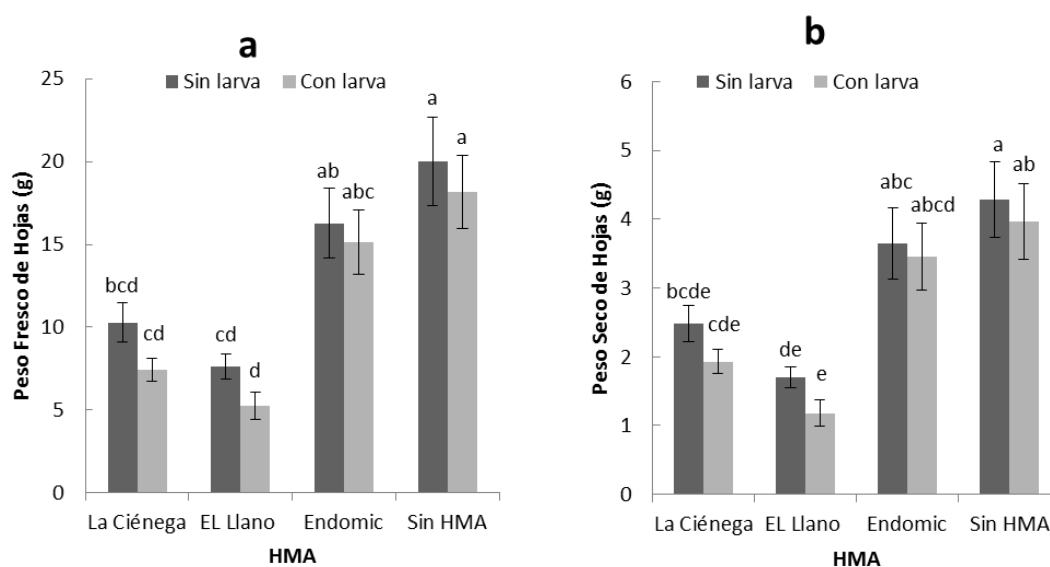


Figura 31. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Hojas de maíz criollo a los 61 días después del trasplante. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0.05$).

Plantas sin HMA con larva presentaron un peso fresco de tallo 350 % mayor que plantas con el consorcio El Llano con larva (42.2 g vs 8.7 g) (Fig. 32a). Para la variable de PS de tallo, plantas sin HMA sin larva mostraron un valor 380 % mayor que plantas con el consorcio El Llano con larva, fueron diferentes estadísticamente (Fig. 32b).

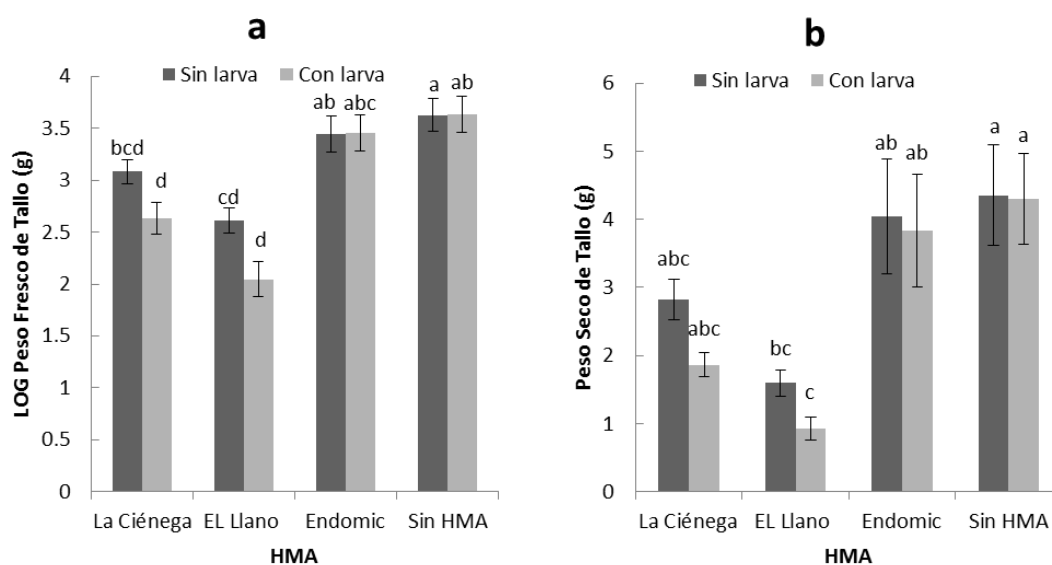


Figura 32. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Tallo de maíz criollo a los 61 días después del trasplante. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

En PF de raíz, plantas sin HMA sin larva mostraron un peso 290% mayor que plantas con el consorcio El Llano con larva (63.6 g vs 16.2 g) (Fig.33a). Plantas sin HMA con larva presentaron un peso seco de raíz dos veces mayor que plantas con el consorcio El Llano (3.83 g vs 1.19 g) (Fig. 33b).

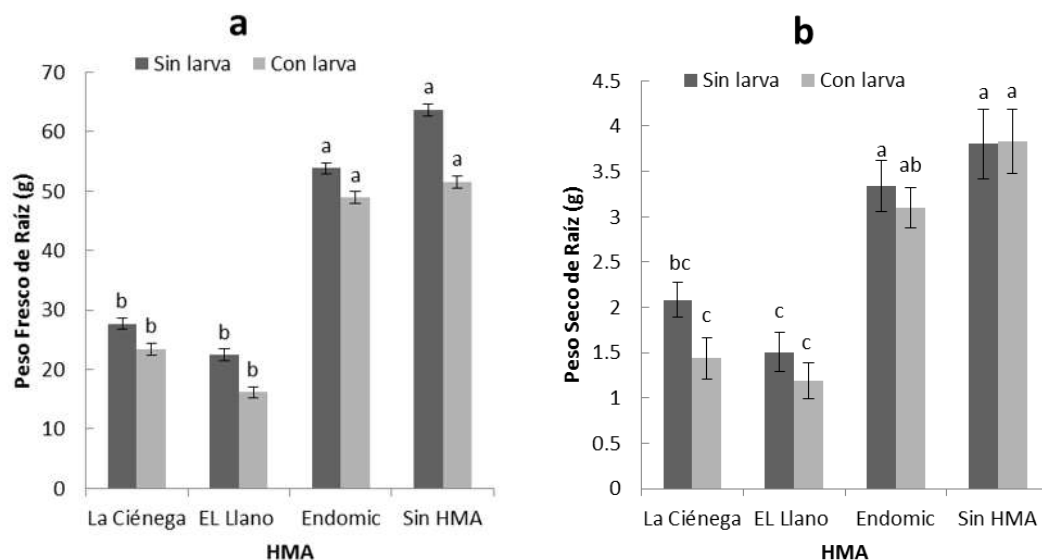


Figura 33. Peso Fresco (a) y Seco (b) de Raíz de maíz criollo a los 61 días después del trasplante. Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

Plantas sin HMA sin larva presentaron un AF de 646.7 cm^2 , que fue dos veces mayor que el de plantas con el consorcio EL Llano con larva 197.5 cm^2 (Fig. 34a). En la variable de VR plantas sin HMA con larva obtuvieron un valor 280% más alto que plantas con el consorcio EL Llano con larva (Fig. 34b).

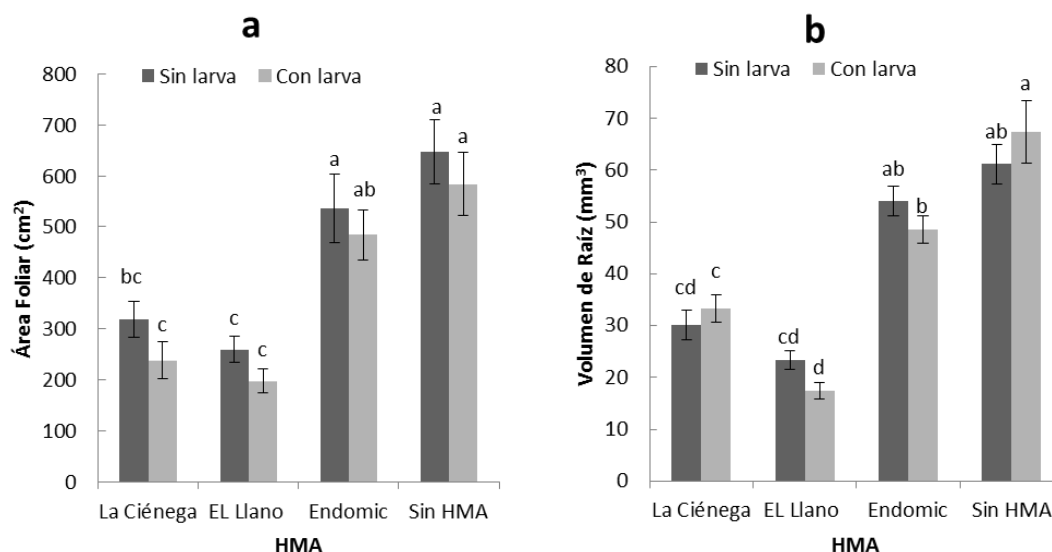


Figura 34. Área Foliar (a) y Volumen de raíz (b) de plantas de maíz criollo a los 61 días después del trasplante. Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

En general los tratamientos sin larva presentaron valores más altos que los tratamientos con presencia de larvas, esto concuerda por lo reportado por Zitlalpopoca et al. (2017), quienes encontraron que la rizofagia de *Phyllophaga vetula* afectó de manera negativa el crecimiento de plantas de maíz (Cuadro 11).

En el maíz híbrido con inóculo comercial Endomic (En) y sin larva presentó un peso fresco de hojas un 100% mayor que el consorcio La Ciénega (LC) con larva y un peso seco de hojas un 80% mayor. Las plantas con el inóculo Endomic sin larva presentaron un peso fresco de tallo mayor en un 130 % y un peso seco de tallo 160 % mayor que plantas con el consorcio La Ciénega con larva. En peso fresco de raíz plantas con el inóculo Endomic con larva mostraron valores 100% mayores que plantas con el consorcio La Ciénega con larva. En peso seco de raíz plantas con inóculo Endomic sin larva fue 1.6 veces mayor que plantas con el consorcio La Ciénega con larva. El área foliar de plantas con el inóculo Endomic sin larva fue mayor un 90% que el de plantas con el consorcio La Ciénega con larva. Las plantas sin HMA y sin larva obtuvieron el un volumen de raíz 90% mayor que plantas con el consorcio La Ciénega con larva (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz criollo a los 61 DDT¹.

HMA	Larva	Pesos Frescos			Área Foliar	Vol. Raíz	Pesos secos		
		Hojas	LOG (Tallo)	Raíz			Hojas	Tallo	Raíz
El Llano	Sin larva	7.6	14.4	22.4	259.2	23.3	1.7	1.6	1.5
		cd	bc	bc	c	c	de	bc	c
	Con Larva	5.3	8.7	16.2 c	197.5	17.4	1.2	0.9	1.2
		d	c		c	c	e	c	c
La Ciénega	Sin larva	10.3	23.0	27.7	318.1	28.4 c	2.5	2.8	2.1
		bcd	ab	b	bc		bcde	abc	bc
	Con Larva	7.4	15.1	23.5	238.1	33.3	1.9	1.9	1.4
		d	bc	bc	c	bc	cde	abc	c
Endomic	Sin larva	16.3	35.6	53.8	535.8	54.0 a	3.6	4.1	3.3
		ab	a	a	a		abc	ab	a
	Con Larva	15.1	36.1	48.9	484.0	48.6	3.5	3.8	3.1
		abc	a	a	ab	ab	abcd	ab	ab
Sin HMA	Sin larva	20.0	41.7	63.6	646.7	66.9 a	4.3	4.4	3.8
		a	a	a	a		a	a	a
	Con Larva	18.1	42.2	51.9	583.7	58.3 a	4.0	4.3	3.8
		a	a	a	a		ab	a	a

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Las plantas de maíz híbrido inoculadas con Endomic tuvieron los valores más altos y plantas con inóculo La Ciénega los valores más bajos en todas las variables (Cuadro 12). En general los tratamientos sin larva presentaron valores más altos que los tratamientos con presencia de larvas, esto concuerda por lo reportado por Zitlalpopoca et al. (2017), quienes encontraron que la rizofagia de *Phyllophaga vetula* afectó de manera negativa el crecimiento de plantas de maíz. Las plantas con los consorcios nativos presentaron valores menores en todas las variables que las plantas con el inóculo Endomic y sin HMA. Estos consorcios provienen de parcelas con un monocultivo de maíz lo que de acuerdo a Johnson

et al. (1992) puede ocasionar que el cultivo continuo de una sola especie vegetal seleccione las especies de HMA de más rápido crecimiento y esporulación. Estos hongos pueden adoptar un comportamiento de parásitos, en comparación con las especies no proliferativas de hongos HMA.

Cuadro 12. Análisis de área foliar, volumen de raíz, pesos frescos y secos en maíz híbrido a los 61 DDT¹.

HMA	Larva	Pesos Frescos			Área Foliar	Vol. Raíz	Pesos secos		
		Hojas	Tallo	Raíz			Hojas	Tallo	Raíz
La Ciénega	Sin larva	8.8 c	12.7 c	35.4 cd	389.6 c	39.2 ab	2.4 b	1.7 d	2.6 bc
	Con Larva	8.3 c	11.5 c	28.0 d	338.0 c	30.3 b	2.2 b	1.5 d	2.3 c
El Llano	Sin larva	13.3 abc	18.9 abc	41.6 abcd	504.8 abc	41.4 ab	3.0 ab	2.4 bcd	3.3 abc
	Con Larva	11.6 bc	17.1 bc	39.7 bcd	452.6 bc	41.9 ab	3.0 ab	2.2 cd	3.6 ab
Endomic	Sin larva	17.3 a	27.1 a	55.8 a	663.2 a	52.9 a	4.0 a	3.9 a	3.9 a
	Con Larva	16.6 ab	25.7 a	55.9 a	622.3 ab	57.3 a	3.9 a	3.7 ab	4.2 a
Sin HMA	Sin larva	15.1 ab	23.9 ab	54.6 ab	629.6 ab	58.0 a	3.7 a	3.3 abc	4.0 a
	Con Larva	12.3 abc	16.7 bc	47.0 abc	496.0 abc	56.8 a	3.1 ab	2.2 cd	3.7 ab

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). ¹ Días después del trasplante.

Variables microbiológicas

En los factores de cultivar de maíz y HMA se observaron diferencias en el número de esporas y colonización micorrízica. En el factor de ausencia o presencia de larvas existió diferencia estadística en la variable de número de esporas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis factorial de No. de esporas y colonización micorrízica a los 61 DDT¹.

Factor	Esporas en 100 g⁻¹ de sustrato	Colonización micorrízica (%)
A: Maíz		
Criollo	110.4 a	51.4 a
Hibrido	138.6 b	41.7 b
B: Larva		
Ausencia	130.8 a	47.7 a
Presencia	118.2 b	45.4 a
C: HMA		
La Ciénega	185.6 a	63.1 b
El Llano	168.3 a	82.5 a
Endomic	145.2 b	39.3 c
Sin HMA	0.0 c	1.3 d
A*B		
Valor de P	0.467	0.075
A*C		
Valor de P	0.000*	0.000*
B*C		
Valor de P	0.137	0.004*
A*B*C		
Valor de P	0.428	0.007*

Cada valor corresponde a la media. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05). Para las interacciones los valores de P menores a 0.05 prueban un efecto estadístico entre factores. ¹ Días después del trasplante.

El número de esporas en 100 g⁻¹ de sustrato fue mayor en el cultivar híbrido un 25% que en el cultivar criollo. Se contabilizó una colonización micorrízica del 23 % mayor en el maíz criollo que en maíz híbrido. El número de esporas en ausencia de larvas fue 10% mayor que en presencia larvas. El consorcio La Ciénega (LC) presentó 185.6 esporas un 27% más que en el inoculo comercial Endomic, en plantas Sin HMA no se contabilizaron esporas. Plantas con el tratamiento El Llano

(EL) fueron las de mayor colonización micorrízica con el doble de lo contabilizado en plantas con el inóculo Endomic, plantas Sin HMA mostraron 1.29% de colonización.

En la figura 35 se aprecia la colonización a los 61 DDT, se pueden observar hifas del micelio intraradical y extraradical, vesículas, esporas y arbuscúlos.

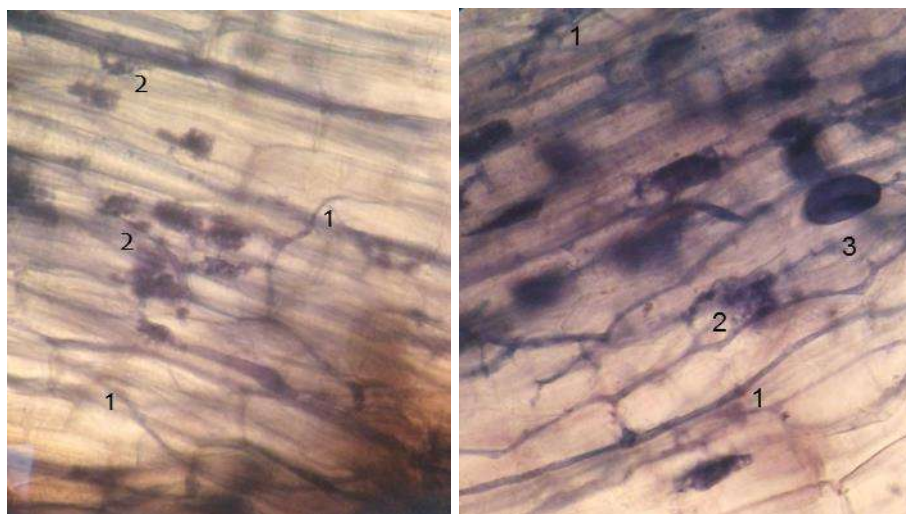


Figura 35. Colonización micorrízica en raíces de plantas de maíz a los 61 DDT¹. 1: hifas de micelio intraradical, 2: arbuscúlos, 3: vesículas. ¹Días después del trasplante.

Las interacciones Criollo-LC e híbrido-EL mostraron los valores más altos de número de esporas con 210.5 y 227.2 esporas respectivamente (Fig. 36).

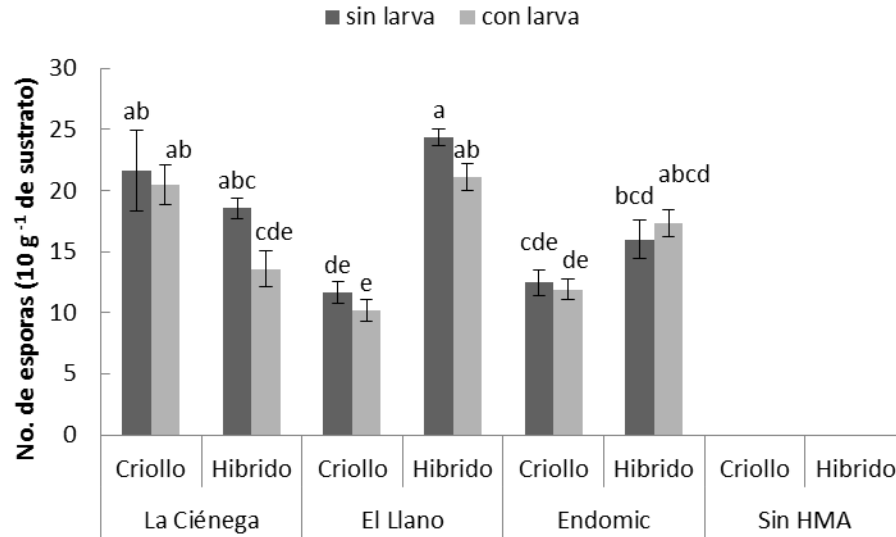


Figura 36. No. de esporas en 100 g⁻¹ de sustrato a los 61 días después del trasplante. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey (P<0,05).

En la colonización micorrízica, el consorcio El Llano presentó en ambos maíces los valores más altos con 83.1 y 81.9 en maíz criollo e híbrido respectivamente. En la interacción de los factores Larva y HMA el consorcio EL presentó los valores más altos de colonización en presencia de plaga (82%) y en ausencia (83%) de larvas (Fig.37). La presencia o ausencia de larvas no afectó las variables microbiológicas de número de esporas y colonización micorrízica. Zitlalpopoca et al. (2017) encontraron que la rizofagia de *Phyllophaga vetula* disminuyó la colonización micorrízica en plantas de maíz.

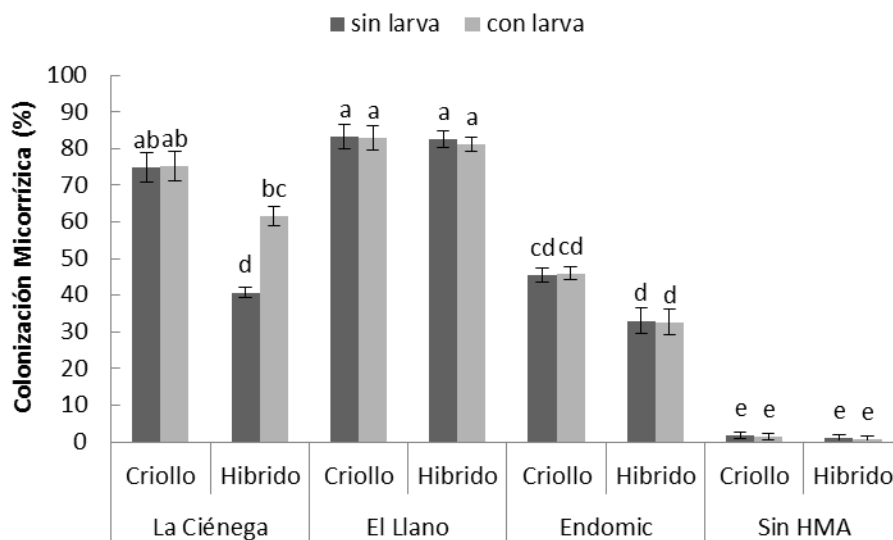


Figura 37. Colonización micorrízica (%) a los 61 días después del trasplante. Líneas sobre las barras indican el error estándar. Letras distintas en barras indican diferencias significativas. Tukey ($P < 0,05$).

5.4.6 Conclusión

Los consorcios nativos no presentaron efecto de bioprotección en plantas de maíz ante la rizofagia por larvas de *Phyllophaga* spp. Las plantas inoculadas con los consorcios nativos presentaron un menor crecimiento de la planta tanto en la parte aérea como la parte de la raíz en ambos maíces. En ambos maíces la presencia de micorrizas no afectó la rizofagia de las larvas. La presencia o ausencia de larvas no presentó efecto sobre las variables de crecimiento de planta en ningún tratamiento.

La ausencia o presencia de larvas no afectó las variables microbiológicas. Las plantas de maíz criollo presentaron porcentajes de colonización micorrízica más altos que las plantas de maíz híbrido. El nivel de colonización micorrízica presentó un efecto mayor por el factor HMA. En la variable número de esporas se contabilizaron 25 % más esporas en 100 gramos de sustrato en plantas de maíz híbrido que en maíz criollo.

5.4.7 Literatura citada

- Aragón, A., & Morón, M. Á. (2004). Descripción de las larvas de tres especies de Phyllophaga (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) del Valle de Puebla, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 43(3).
- Bashan y., Salazar B., Moreno M., Blanca R. López B., Linderman R. (2012). Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms and limited amounts of compost and water. *Journal of Environmental Management*, 102 (2012). 26-36.
- Frew, A., Powell, J. R., Hiltbold, I., Allsopp, P. G., Sallam, N., & Johnson, S. N. (2017). Host plant colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi stimulates immune function whereas high root silicon concentrations diminish growth in a soil-dwelling herbivore. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 117-126.
- Frew, A., Powell, J. R., Sallam, N., Allsopp, P. G., y Johnson, S. N. (2016). Trade-offs between silicon and phenolic defenses may explain enhanced performance of root herbivores on phenolic-rich plants. *Journal of chemical ecology*, 42(8), 768-771.
- Garrido, E., Bennett, A. E., Fornoni, J., & Strauss, S. Y. 2010a. The dark side of the mycorrhiza. *Plant signaling & behavior*, 5(8), 1019-1021.
- Johnson, S. N., Erb, M., & Hartley, S. E. (2016). Roots under attack: contrasting plant responses to below-and aboveground insect herbivory. *New Phytologist*, 210(2), 413-418.
- Johnson, N. C., Copeland, P. J., Crookston, R. K., & Pfleger, F. L. (1992). Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Agronomy Journal*, 84(3), 387-390.

- Morón, M. A. 2003. Diversidad, distribución e importancia de las especies de *Phyllophaga* Harris en México (Coleóptera: *Melolonthidae*). In: Aragón, G. A.; Morón, M. A. y Marín, J. A. (Eds.) 2003. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. p. 1-27.
- Morón, M. A. 2010. Diversidad y distribución del complejo “gallina ciega” (Coleóptera: *Scarabaeoidea*), pp. 41-63. In: Rodríguez del Bosque, L. A. & M. A. Morón (Eds.). Plagas del suelo. Mundi-Prensa, México.
- Perez-Agis E., Morón M.A., Najera-Rincon M.B. y Castro-Ramírez A.E., 2014, Factores que influyen en la abundancia de larvas de coleóptera: *Melolonthidae* con importancia agrícola en la región Purépecha, Michoacán, México., *Acta Zoológica Mexicana*, 30(1):161-173.
- Statgraphics (2005) StatGraphics Centurion: ver. XV (User manual). Stat-Point, Inc. USA. 380 p.
- Zitlalpopoca-Hernandez, G., Najera-Rincon, M. B., del-Val, E. K., Alarcon, A., Jackson, T., & Larsen, J. (2017). Multitrophic interactions between maize mycorrhizas, the root feeding insect *Phyllophaga vetula* and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Applied soil ecology*, 115, 38-43.

VI. Conclusión general

El manejo y laboreo agrícola, impacta directamente en la densidad de comunidades de HMA, los tipos de manejo de menor perturbación favorece el aumento en la densidad de esporas de éstos hongos.

Las concentraciones de fósforo son inversamente proporcionales a la densidad de esporas de hongos micorrízicos, por el contrario las concentraciones de potasio favorecen el incremento en la densidad de esporas de los hongos.

Las densidades de esporas obtenidas por propagación en macetas trampa fueron diferentes a las densidades naturales del suelo a excepción del predio El Anteojo donde se contabilizaron cantidades similares.

Se encontraron nueve especies correspondientes a cinco géneros de HMA. El género con mayor representatividad fue *Acaulospora* con tres especies. *Clareoidoglomus clarioideum* y *Funneliformis geosporum* se encontraron en todos los sitios muestreados. *Clareoidoglomus clarioideum* fue la especie más abundante con un 70.5 % del total de esporas contabilizadas.

El fenotipo y la genética de los cultivares de maíz influyó en la altura de planta. Plantas de maíz criollo presentaron una altura superior que maíz híbrido en ambos sustratos los 61 días después del trasplante. Las plantas que crecieron en suelo mostraron un mejor desarrollo que las que se trasplantaron a la mezcla de arena-agrolita, la mayor concentración de nutrientes en suelo así como la posible presencia de microbiota benéfica existente que el suelo sin esterilizar, pudo haber influenciado este mejor desarrollo.

En sustrato no se mostraron diferencias entre plantas inoculadas y sin inocular en ambos maíces. Las plantas de maíz criollo sin micorrizar y trasplantadas a sustrato presentaron valores superiores de las variables de crecimiento que plantas inoculadas. En el maíz criollo en suelo las plantas sin HMA presentaron los valores más bajos en las variables de crecimiento.

En la mezcla suelo-arena-agrolita la inoculación con *F. mosseae* y *R. intraradices* promovió el crecimiento vegetal de las plantas de maíz aún en presencia de la gallina ciega. En mezcla arena-agrolita las plantas de ambos maíces, inoculadas con los consorcios nativos de HMA, crecieron menos que plantas sin HMA. La inoculación con *F. mosseae* y *R. intraradices* no presentó efecto en la rizofagia de gallina ciega *in planta* ni *in vitro*, pero las plantas inoculadas presentaron un mayor crecimiento en la parte aérea que plantas sin inocular.

Los consorcios nativos de HMA no presentaron efecto de bioprotección en plantas de maíz ante la rizofagia por larvas de *Phyllophaga* spp.

El número de esporas y el porcentaje de colonización micorrízica no presentaron efecto por la presencia o ausencia de larvas. Las plantas de maíz criollo presentaron porcentajes de colonización micorrízica más altos que las plantas de maíz híbrido. En la variable número de esporas se contabilizaron más esporas en plantas de maíz híbrido que en maíz criollo.

El consorcio micorrízico nativo El Llano, presentó niveles de colonización superiores al 90% en suelo y al 80% en sustrato.

VII. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenido bajo las condiciones experimentales descritas en este trabajo, se recomendaría, realizar experimentos que tengan una mayor duración con la finalidad de comprobar si los consorcios nativos promueven el crecimiento de maíces. Ya que existen reportes de otras investigaciones que el efecto positivo de la micorrización en maíz se muestra posterior a los 60-70 días después de la inoculación, ya que ha pasado el tiempo de establecimiento de la simbiosis.

La prueba de estos consorcios de HMA en suelo con diferentes niveles de fertilización, podría permitir saber si con una fertilización adecuada el efecto de los consorcios puede optimizarse y brindar información de las cantidades mínimas para lograr un efecto positivo de la micorrización con HMA nativos.

El aislamiento y propagación de las especies aquí reportadas, así como la realización de las pruebas para promover el crecimiento vegetal, pueden favorecer el conocimiento acerca de posibles relaciones sinérgicas o de competitividad entre especies cuando se inoculan en consorcios o inóculos mixtos.

Identificar en el consorcio La Ciénega el agente microbiológico y/o metabolito secundario que pueda ser el causante de la alta tasa de mortalidad de larvas encontrada en esta investigación, que podría ser un potencial control biológico nativo para esta plaga.

VIII. LITERATURA COMPLEMENTARIA

- Alarcón A., Almaraz J.J., Ferrera-Cerrato R., González-Chávez M.C.A., Lara M. E., Manjarrez M.J., Quintero R. y Santamaría S., 2004, Manual: Tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. Colegio de Postgraduados, Montecillo, SEMARNAT-PRONARE.
- Antoun, H., Prévost, D., 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui, Z.A. (Ed.), PGPR: biocontrol and biofertilization, Springer, Dordrecht, pp. 1–38.
- Arguello, H.; Cáceres, O. y Morón, M. A. 1999. Guía ilustrada para identificación de especies de Gallina Ciega (*Phyllophaga* spp.) presentes en las principales zonas agrícolas de Nicaragua. PROMIPAC –Nicaragua, Escuela Agrícola Panamericana, ZAMORANO, Honduras. 18 p.
- Armenta, B.A.D., C. García G., J.R. Camacho B., M.A. Apodaca S., L.G. Montoya, E. Nava P. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhal. Universidad Autónoma Indígena de México. 6: 51-56.
- Aroca R, Porcel R, Ruiz-Lozano JM. 2007. How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in *Phaseolus vulgaris* under drought, cold or salinity stresses?. *New Phytologist* 173:808-816
- Avis, T.J., V. Gravel, H. Antoun, R.J. Tweddell, 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 1733-1740.
- Ayala-Sánchez A., L.K. Rishnamurthy y J.A. Basulto-Graniel. 2009. Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 27: 63-69
- Azcón-Aguilar C. y Barea J.M., 1980, Micorrizas, *Investigación y ciencia*, 47: 8-16.

- Azcón-Aguilar C., Barea J. M., 1996, Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens - an overview of the mechanisms involved, *Mycorrhiza*, 6: 457-464.
- Baligar, V.C., G.V. Pitta, E.E. Gama, R.E. Schaffert y R.B. Clark. 1997. Soil acidity effects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant Soil* 192: 9–13.
- Barea, J.M. 1998. Biología de la rizósfera. *Investigación y Ciencia* 256: 74-81.
- Barea JM, Jeffries P. 1995. Arbuscular Mycorrhizas in Sustainable Soil Plant Systems. In: Varma A, Hock B (eds) *Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer, Heidelberg, pp. 521-559.
- Bashan y., Salazar B., Moreno M., Blanca R. López B., Linderman R. 2012. Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms and limited amounts of compost and water. *Journal of Environmental Management*, 102 (2012). 26-36.
- Bautista J.M., Posadas L., Urbina J. Larsen J. y Segura S. 2017. Colonización por micorrizas en la producción de plántulas en vivero de arándano (*Vaccinium* spp.) cv Biloxi. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(3).
- Bethlenfalvay G.J. y R.G. Linderman. 1992. *Micorrhizae in sustainable agricultura*. ASA. Especial Publication, Madison, Wisconsin. 124 p.
- Borstler B., Renker C., Kahmen A. y Buscot F. 2006. Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity, *Biol Fertil Soils*. 42: 286-298.

- Brundrett M., Bouguer N., Dell B., Malaczuck N. 1996. Working with mycorrhizae in forestry and agriculture. Canberra AU. ACIAR Monograph 32.374. Pirie printers. 369 p.
- Carballar- Hernández S., 2009, Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrízico en especies silvestres de agave en Oaxaca Tesis de Maestría, IPN, México, 80pp.
- Carpenter AT y Allen MF. 1988. Response of *Hedysarum boreale* Nutt. To mycorrhizas: plant and soil nutrient changes in a disturbed shrubsteppe. *New Phytologist* 109: 125- 132
- Cui M y Caldwell M. M. 1996. Facilitación of plant phosphate acquisition by arbuscular mycorrhizas from enriched soil patches. I. Roots and hyphae exploiting the same soil . *New Phytologist* 122: 643- 649
- De la Peña E, Rodriguez-Echeverria S, van der Putten WH, Freitas H, Moens M. 2006. Mechanism of control of root-feeding nematodes by mycorrhizal fungi in the dune grass. *Ammophila arenaria*. *New Phytologist* 169, 829–840
- Elsen A, Gervacio D, Swennen R, De Waele D. 2008. AMF induced biocontrol against plant parasitic nematodes in *Musa* sp.: a systemic effect. *Mycorrhiza* 18, 251–256
- Ezawa T., Yamamoto K. y Yoshida S., 2000, Species composition and espore density of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under different conditions of P-fertility as revealed by soybean trap culture, *Soil Sci Plant Nutr*, 46: 291-297.
- Fernández K., 2003, Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de vitroplantas de papa (*Solanum tuberosum* L. var Alfa) en estadios in vitro y ex vitro, Tesis de maestría Facultad de Biología de La Habana, Cuba.

- Ferrer R. y Herrera R.A., 1988, Micotrofia en la sierra del Rosario. En: Ecología de los bosques siempre verdes de la Sierra del Rosario, Cuba, Eds Proyecto MAB #1, Cuba, 627:669.
- Ferrol N, Barea JM, Azcón-Aguilar C. 2009. The plasma membrane H⁺ -ATPase gene family in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Current Genetics 37:112-118
- Giovannetti M., 2000, Spore germination and pre-symbiotic mycelial growth, In: Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function, Ed. Kapulnik Y. and Douds D., Chapter 3: 47-68.
- Gómez, M. R., y Rodríguez, A. 2012. Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. Revista Colombiana de Biotecnología, 14(1), 271-284.
- Gosling P.A., Hodge, G. Goodlas y G.D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 113: 17-35.
- Hayman D.S., 1987, VA mycorrhizas in field crop systems, In: Ecophysiology of VA mycorrhizal plants G.R. Ed, CRC Press, Florida, 171-192.
- Hesterberg, D. 1993. Effects of stopping on abandoned agricultural land. Land Degradation & Rehabilitation 4: 257-267
- Hodge A., 2000, Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. FEMS Microbiol Ecology, 32:91-96.
- Johnson, S.N. and Rasmann, S. 2015. Root-Feeding Insects and Their interactions with organisms in the rhizosphere. Annual Review of Entomology 60:517-535.
- Jordan T.A., Youngman R.R., Laub C.L., Tiwari S., Kuhar T.P., Balderson T.K., Moore D.M., y Saphir M., 2012, Fall soil sampling method for predicting

spring infestation of white grubs (Coleóptera: Scarabaeidae) in corn and the benefits of clothianidin seed treatment in Virginia, Crop protection 39:57-62.

Koricheva J, Gange AC, Jones T (2009). Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. Ecology 90:2088-2097.

Liu J, Maldonado-Mendoza I, López-Meyer M, Cheung F, Town CD, Harrison MJ. 2007. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. Plant Journal 50:529-544.

Loera-Gallardo, J., Pérez-Dominguez, J.F. and Rodríguez del Bosque, L.A. 2010. Chemical control. In. L.A. Rodríguez del Bosque and M.A. Morón (eds.), Soil pests (pp. 197-214). México: INIFAP.

Miller RM, Reinhardt DR, Jastrow JD. 1995. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. Oecologia 103:17-23.

Montaño Arias, N. M., Quiroz García, V., y Cruz Flores, G. 2001. Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol. Terra Latinoamericana, 19(4).

Morón R., M. A.; Hernández R., S. y Ramírez, C. A. 1986. El complejo “gallina ciega” (Coleóptera: *Melolonthidae*) asociado con la caña de azúcar en Nayarit, México. Folia Entomol. Mex. 98:1-44.

Morón, M. A. 1993. Las especies de Phyllophaga (Coleóptera: *Melolonthidae*) del estado de Veracruz, Méx. In: Morón, M. A. (comp.). Diversidad y manejo de plagas subterráneas. Sociedad mexicana de entomología e Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México. p. 55-82.

- Móron, M.A. 1997. White grubs (Coleoptera: Melolonthidae: Phyllophaga Harris) in Mexico and Central America. A brief review. Trends in Entomology 1:117-128.
- Morón, M. A. 2003. Diversidad, distribución e importancia de las especies de Phyllophaga Harris en México (Coleóptera: *Melolonthidae*). In: Aragón, G. A.; Morón, M. A. y Marín, J. A. (Eds.) 2003. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. p. 1-27.
- Morón, M. A. 2010. Diversidad y distribución del complejo “gallina ciega” (Coleóptera: *Scarabaeoidea*), pp. 41-63. In: Rodríguez del Bosque, L. A. & M. A. Morón (Eds.). Plagas del suelo. Mundi-Prensa, México.
- Morton J.B. and Bentivenga P.S., 1994, Levels of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic groups, Plant and soil, 159:47-59.
- Nakano A., Takahashi K. y Kimura M., 2001, Effect of host shoot clipping on carbon and nitrogen sources for arbuscular mycorrhizal fungi, Mycorrhiza, 10:287-293.
- Newsham K.K., Fitter A.H. y Watkinson A.R. 1994. Root pathogenic and arbuscular mycorrhizal fungi determine fecundity of asymptomatic plants in the field. Journal of Ecology 82: 805-814.
- Öpik M., Moora M., Zobel M., Saks U., Wheatley R., Wright F. and Daniell T., 2008, High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreal herb-rich coniferous forest, New Phytologist, 179:867-876.
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G. I., Arguelles, J. H., & Arcos, A. L. 2007. Micorrizas arbusculares del sur de la amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. Acta Amazónica, 37(3), 327-336.

- Pérez Ortega, E., de la Noval, B. M., Martínez Coca, B., Torres de la Noval, W., Medina Carmona, A., Hernández, A., & León, O. 2015. Inducción de mecanismos de defensa en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) micorrizadas frente al ataque de *Oidiopsis taurica* (Lev.) Salm. Cultivos Tropicales, 36(1), 98-106.
- Perez-Agis E., Morón M.A., Najera-Rincon M.B. y Castro-Ramírez A.E., 2014, Factores que influyen en la abundancia de larvas de coleóptera: Melolonthidae con importancia agrícola en la región Purépecha, Michoacán, México., Acta Zoológica Mexicana, 30(1):161-173.
- Pieterse C.M.J., Ton J., Van Loon L.C. 201. Cross-talk between plant defense signaling pathways: Boost or burden? AgBiotechNet.;3:ABN068.
- Pineda, A., Zheng, S.J., van Loon, J.J.A., Pieterse, C.M.J. and Dicke, M. 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. Trends in Plant Science 15(9):507-514.
- Piotrowski J.S., Denich T., Klironomos J.N., Graham J.M., Rillig M.C. 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. New Phytologist 164:365-373.
- Portilla C., I., E. Molina G., G. Cruz-Flores, I. Ortiz-Monasterio y G.G.B. Manske. 1998. Colonización micorrízica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un Andisol. Terra 16: 55-61.
- Pozo M.J., Van Loon L.C., and Pieterse C.M.J., 2005, Jasmonate-signals in plant-microbe interaction, Journal of plant growth regulation, 23:211-222.
- Pozo J.M. y Azcón-Aguilar C., 2007, unraveling mycorrhiza-induced resistance, Plant biology 10:393-398.

- Quiñones-Aguilar E.E., Montoya-Martínez A.C., Rincón-Enríquez G., Lobit P. y López-Pérez L. 2016. Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(4), 1052-1064. Epub 00 de octubre de 2016.
- Quiñones-Aguilar, E.E., Hernández-Cuevas L.V., López-Pérez, L. y Rincón-Enríquez, G. (2019). Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de agave como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoamericana*, 37(2).
- Reyes-Tena, A., López-Pérez, L., Quiñones-Aguilar, E. E., y Rincón-Enríquez, G. 2015. Evaluación de consorcios micorrízicos arbusculares en el crecimiento vegetal de plantas de maíz, chile y frijol. *Biológicas*, 17, 35-42.
- Reyes Tena, A., Quiñones Aguilar, E.E., Rincón Enríquez G. y López Pérez L. 2016. Micorrización en *Capsicum annuum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L.. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Mayo-Junio, 857-870.
- Rhodes L.H. and Gerdemann, 1980, Nutrient traslocation in vesicular arbuscular mycorrhizae. In: *Cellular interactions in symbiosis and parasitism*, ed. Cook C.B. and Pappas P.W., Ohio, 305pp.
- Rillig M.C. y Mummey D.L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171:41-53.
- Romero-López, A. A., Morón M. A., Aragón A. y Villalobos, F. J. 2010. La “gallina ciega” (Coleóptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) vista como un “ingeniero del suelo”. *Southwestern Entomologist*, 35: 331-343.
- Schubler A., D. Schwarzott y C. Walker. 2001. A new fungal phylum. The Glomeromycota, phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105:1413-1421

- Smith S.E. y Read D.J., 1997, Mycorrhizal symbiosis, 2nd edition, Academic Press London.
- Smith S.E. y Read D.J., 2008, Mycorrhizal symbiosis, third edition, Academic Press San Diego, 637pp..
- Sharma D., Kapoor R., Bhatnagar A.K. 2009. Differential growth response of *Curculigo orchoides* to native arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities varying in number and fungal components. *Eur. J. Soil. Biol.* 45:328-333
- Stanley M.R., R.T. Koide y D.L. Shumaway. 1993. Mycorrhizal symbiosis increases growth, reproduction and recruitment of *Abutilon theophrasti* Medic in the field. *Oecologia* 94: 30-35.
- SIAP.2016. disponible en.
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&itemid=351 Consultado 19 de diciembre de 2016
- Toro, M., Bazó, I., y López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Trop*, 58(3), 215-221.
- Trappe J.M., 1987, Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary stand point. In: *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants* ed. Safir G.R., Florida 5-25 p.
- Trinidad C. J. R., Aguilar, Quiñones A. E. E., Rincón E. G., López P. L., & Hernández C. L. V. 2017. Micorrización de *Agave cupreata*: Biocontrol de *Fusarium oxysporum* y promoción del crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 35(2).
- Van der Heijden, M. A. G., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A. y Sanders, I. R. 1998 Mycorrhizal fungal

diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396:69–72

Van Wees S.C.M., Van der Ent S., Pieterse C.M.J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. Curr Opin Plant Biol. 2008;11:443–448.

Vannette, R. L., & Rasmann, S. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi mediate below-ground plant–herbivore interactions: a phylogenetic study. Functional Ecology, 26(5), 1033-1042.

Varela, L y Trejo, D; (2001). Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, () 39-51.

Vassilev N, Medina A, Azcón R y Vassileva M. 2006. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. Plant Soil. 2006; 287: 77-84.

Villalobos, F. J. 1999. The sustainable management of white grubs (Coleoptera: Melolonthidae) pest of corn in “El Cielo” Biosphere Reserve, Tamaulipas, México. Journal of Sustainable Agriculture. 14: 5-29.

Wang B. y Qiu Y.L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. Mycorrhiza 16:299-363.

ANEXOS



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Programa de Maestría en Producción Agropecuaria

Otorgan la presente



CONSTANCIA

A: Alejandro Huerta Ramírez, Luis López Pérez, Jhony N. Enriquez
Vara, Cristian Marc Phillippe Lobit, Cecilia Guízar González y Nuria
Gómez Dorantes.

Por su presentación titulada:

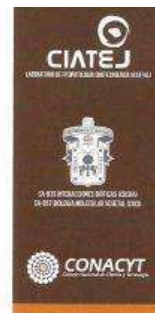
*Extracción, identificación, propagación y evaluación de hongos micorrízicos
arbusculares nativos de maíz en el municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.*

en el "Seminario del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria 2018"
celebrado el día 23 de octubre en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias
y Forestales.


Dra. Melba Ramírez González
Coordinadora del Programa de Maestría
en Producción Agropecuaria


Dr. Samuel Pineda Guillermo
Director del Instituto de Investigaciones
Agropecuarias y Forestales


Dr. Mauricio Perea Peña
Secretario Académico del Instituto de
Investigaciones Agropecuarias y Forestales



Otorgan la presente

CONSTANCIA

Al trabajo de investigación en la modalidad de **PONENCIA**:

**Presencia de hongos entomopatógenos nativos en suelos
del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán**

Realizado por:

Alejandro Huerta Ramírez

Jhony Navat Enríquez Vara | Cecilia Guizar González | Gabriel Rincón Enríquez
Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar | Nuria Gómez Dorantes
Phillipe Lobit | Luis López Pérez

Para el V SIMPOSIO NACIONAL DE HERRAMIENTAS DE BIOTECNOLOGÍA PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Realizado los días 3,4 y 5 de Octubre del presente
en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

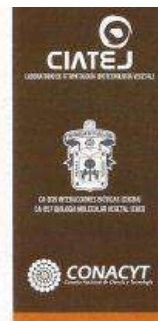

Dr. Saúl Fraire Velázquez
COORDINADOR DE LA RED


Dr. Gabriel Rincón Enríquez
CIATEJ


Dr. Gustavo Javier Acevedo Hernández
CUCI


Dra. Carla Vanessa Sánchez Hernández
CUCBA

Año 2018



Otorgan la presente

CONSTANCIA

Al trabajo de investigación en la modalidad de **CARTEL**:

Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en maíz criollo

Realizado por:

Alejandro Huerta Ramírez

Jhony Navat Enríquez Vara | Cecilia Guízar González | Gabriel Rincón Enríquez
Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar | Nuria Gómez Dorantes
Phillipe Lobit | Luis López Pérez

Para el V SIMPOSIO NACIONAL DE HERRAMIENTAS DE BIOTECNOLOGÍA PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Realizado los días 3,4 y 5 de Octubre del presente
en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.



Dr. Gabriel Rincón Enríquez
CIATEJ



Dr. Gustavo Javier Acevedo Hernández
CUCI



Dra. Carla Vanessa Sánchez Hernández
CUCBA



Dr. Saúl Fraire Velázquez
COORDINADOR DE LA RED

Año 2018

SEP

SISTEMAS DE
EVALUACIÓN PÚBLICA



UAdD

Universidad Autónoma de Durango
Sistema de Evaluación Pública



LA SOCIEDAD MEXICANA DE LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA A.C. Y EL CIIDIR-IPN UNIDAD SINALOA

otorgan la presente

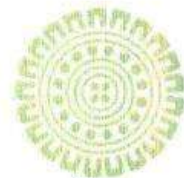
Constancia

A: Evangelina Quiñones-Aguilar, Gabriel Rincón-Enríquez, Alejandro Huerta-Ramírez, Cuauhtémoc Hernández-Hernández, Cecilia Guízar-González, Luis López-Pérez, Jhony N. Enríquez-Vara

por su participación con el CARTEL

Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares sobre las principales plagas del maíz

IX Simposio Nacional y VI Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica
Mazatlán, Sinaloa, 23 al 27 de septiembre del 2018



SOMESIMI

Ignacio Edmundo Maldonado Mendoza

Dr. Ignacio Edmundo Maldonado Mendoza
Organizador

Sara Lucía Camargo Ricalde

Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde
Presidente

El Comité Organizador de la

1ª FERIA INTERNACIONAL DEL MAÍZ GUANAJUATO 2018

Irapuato, Guanajuato, México, 9-10 de agosto



Cinvestav
Unidad Irapuato



otorga la presente

CONSTANCIA

a

Gabriel Rincón Enriquez

por su participación en la Sección de Carteles Científicos con el trabajo titulado:

Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y gallina ciega en plantas de maíz

Tiene

Dr. Axel Tieszen Favier



"INTERACCIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES – GALLINA CIEGA EN PLANTAS DE MAÍZ"

Alejandro Huerta Ramírez^{1,2*}, Jhonny Navar Enriquez Vaz², Cecilia Guizar Gonzalez², Gabriel Rincón Enriquez², Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar², Philippe Lobit¹, Nuria Gómez Dorantes¹ y Luis López Pérez²

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Km 9.5 Carretera Morelia-Zitácuéaro, C.P. 58000, Tzitzio, Michoacán, México

²Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Camino Añero 1227, El Bajío del Anillo, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México. *ahuerta@ciatex.mx, gtrine@ciatex.mx

INTRODUCCIÓN

Las plagas rizófagas son un factor importante en el rendimiento del cultivo de maíz (Fig. 1). Se ha estimado que pueden ocasionar pérdidas de hasta 87% vegetal¹. Como una solución a estas plagas existen diversas opciones, una de ellas son los biofertilizantes como las micorrizas, que se presentan ampliamente de forma natural y proporcionan diversos beneficios a la planta hospedante². La interacción HMA – planta, incrementa el crecimiento vegetativo, floración, fructificación y rendimiento de producción además de que favorecen la protección contra organismos.



Figura 1. Principales plagas rizófagas presentes en el cultivo del maíz.

Los HMA, inducen la resistencia de las plantas a los insectos fitófagos de formas muy variadas³ y las micorrizas siguen siendo ambiguas⁴. Además de que, tanto las plagas rizófagas y los HMA comparten el mismo hábitat e interactúan con el mismo órgano de la planta hospedante, las raíces. Por lo tanto, debería de existir una presión de selección, con los HMA que brindan una bioprotección efectiva con insectos rizófagos⁵. Por lo anterior en el presente trabajo se evaluaron dos hongos micorrizales arbusculares como bioprotectores de plantas de maíz contra gallina ciega en condiciones de invernadero.

METODOLOGÍA

El experimento se desarrolló en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CITEJ) ubicado en Zapopan, Jalisco. Se evaluaron los HMA *Phytophthora irregularis* y *Funneliformis mosseana*, y dos testigos a los que se les adicionó el micorrizo del sustrato que contiene las esporas de HMA. La unidad experimental consistió en una maceta con una planta y cuatro larvas de *Phyllophaga* (Fig. 2); estas unidades fueron distribuidas en un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento.



Figura 2. Metodología empleada para la implementación del experimento.

Se registró la altura y diámetro de tallo de forma semanal, iniciando en el momento de la instalación, al término del experimento se registró la masa seca aérea de la planta y la diferencia de biomasa de la larva. Con los raíces de las plantas se alimentaron larvas para evaluar el efecto de la micorrización en la herbivoría en condiciones in vitro. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias Tukey (P<0.05) Statgraphics XV (2009).

RESULTADOS

El análisis de varianza indicó que las plantas inoculadas con *F. mosseana* tuvieron la mayor altura de planta durante todo el experimento, alcanzando los 35 cm de altura a los 55 días después del trasplante (P<0.000) (Fig. 3). Los tratamientos sin inoculación fueron los que tuvieron los menores valores de altura durante todo el experimento. No se encontró diferencia significativa en el diámetro del tallo entre los tratamientos y en promedio se obtuvo un diámetro de 0.56 cm.



Figura 3. Dinámica de la altura de la planta de maíz con y sin micorrizas. La barra indica el error estándar. Letras diferentes en las instantáneas indican diferencias significativas de Tukey (P<0.05).

La biomasa vegetal al final del experimento de plantas de maíz inoculadas con los HMA y con la presencia de gallina ciega, tuvieron un incremento significativo (P<0.006), siendo un 56% mayor respecto a las plantas sin HMA y con gallina ciega (Fig. 4).

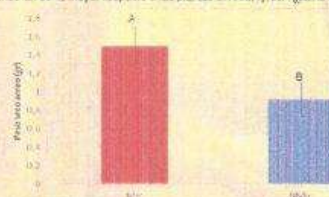


Figura 4. Peso seco por efecto de los tratamientos a los 55 días después del trasplante. Mic- micorrizadas. No Mic- no micorrizadas. Las barras indican el error estándar. Letras diferentes en los instantáneos indican diferencias significativas (Tukey, P<0.05).

Respecto a la herbivoría de las larvas en condiciones in vitro, no se encontró diferencia en peso entre larvas alimentadas con raíces micorrizadas y sin micorrizar a las 24 y 48 horas. Las larvas disminuyeron su peso a las 24 horas en un 4% y un 6% a las 48 horas.

CONCLUSIONES

La presencia de hongos micorrizales arbusculares no afectó la herbivoría de *Phyllophaga*, pero se presentó un efecto compensatorio en las plantas con HMA que promovió el crecimiento vegetal de plantas de maíz sin la presencia de la gallina ciega en el sustrato. Así pues, la búsqueda de consorcios micorrizales o especies de HMA que presenten especificidad con este cultivo resultará en una opción eficaz ante este problema, disminuyendo el uso de químicos para su control y podrá ser un recurso importante para su aplicación biotecnológica en la agricultura sustentable.

LITERATURA CITADA

- De La Peña Quiñones, E. (2006). Diversidad de insectos de maíz y triticale y efecto de factores agroclimáticos en plagas rizófagas en México.
- Flashing P.A., Hodges, G., Goodrich y G.D. Brindley, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 113: 173-181.
- Hondzo, J., Singh, A. S., y Jones, T. (2006). Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores in maize-wheat. Biology 1508: 2066-2075.
- Barnett, A. S., Allen-Quince, J., y Davies, J. D. (2005). Three-way interactions among mutualistic mycorrhizal fungi, plants, and plant enemies: hypotheses and synthesis. The American Naturalist, 167(2), 141-152.
- Kuhn-Gordon, S. N., J. M., y Hendley, S. E. (2010). Roots under attack: contrasting plant responses to below- and above-ground insect herbivory. New Phytologist, 210(2): 613-618.

Proyecto apoyado por PLANTECC-CONACYT (293362)



LIII Congreso Nacional de Entomología

La Sociedad Mexicana de Entomología A.C. informa el siguiente:

Reconocimiento

Alejandro Huerta-Ramírez

POR SU PARTICIPACIÓN COMO
PONENTE DEL TRABAJO

EFFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN MAÍZ ANTE EL ATAQUE DE GALLINA CIEGA. Escrito por: Alejandro Huerta-Ramírez, Jhony Navat Enríquez-Vara, Cecilia Guizar-Gonzalez, Philippe Lobit, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez, Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar y Luis López-Pérez

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA)
Zapopan, Jalisco. Del 17 al 20 de junio de 2018




Dr. Jesús Alberto Acuña Soto

PRESIDENTE DE LA
SOCIEDAD MEXICANA
DE ENTOMOLOGÍA


Dra. M. Patricia Chaires Grijalva

PRESIDENTE DEL
COMITÉ ORGANIZADOR NACIONAL


Dr. Antonio Talavera Villareal

PRESIDENTE DEL
COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL





XI SIRGEAC

Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe

El Comité Organizador del XI Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe otorga la presente

CONSTANCIA

A:

Huerta Ramírez Alejandro, Enríquez Vara Jhony Navat, Rincón Enríquez Gabriel, Quiñones Aguilar Evangelina Esmeralda, Guizar González Cecilia, Lobit Philippe, Gómez Dorantes Nuria, López Pérez Luis

Por la presentación del trabajo titulado:

Abundancia de esporas de hongos micorrízicos en parcelas con diferentes prácticas agrícolas en el municipio de Epitacio Huerta, Michoacán.

**en el XI SIRGEAC celebrado en Guadalajara, Jalisco, Méx.
del 15 al 18 de octubre de 2017**



Dr. RAFAEL AMBRÍZ CERVANTEZ
Presidente del Comité Organizador del
XI SIRGEAC



Dr. JOSÉ FERNANDO DE LA TORRE SÁNCHEZ
Coordinador General del
XI SIRGEAC