

# Hongos Micorrízicos Arbusculares como Alternativa para el Cultivo Sustentable de Agave Tequilana Weber Var. Azul

L. I. Pérez Valencia<sup>#1</sup>, F. Ortega López<sup>#</sup> y C. S. Magaña Martínez<sup>#</sup>

<sup>#</sup>Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez  
Unidad Académica Arandas, Jalisco, México. Departamento de Ingeniería Ambiental.

<sup>1</sup>laura.perez@arandas.tecmm.edu.mx

**Abstract**— The cultivation of blue agave (*Agave tequilana* var. azul) has been intensified by its high and growing demand, with it, agrochemicals used to treat blue agave crops have too. The use agrochemicals in an excessive way can cause severe damages to the environment and those, it is necessary to explore sustainable alternatives. The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) such as *Rizophagus intraradices* (RI) can help reduce the use of agrochemicals and their impact since it provides benefits and advantageous characteristics to the plants with which it establishes symbiosis (mycorrhiza). The aim of this study was to evaluate the colonization percentage of RI inoculated in young agave azul plants and in combination with organic and chemical fertilizers. An experiment with a completely randomized design was conducted, in which, 6 treatments with 16 repetitions were established. In a preliminary analysis, 3 plants of each treatment were evaluated 90 days after transplantation to determine the percentage of RI colonization. Agave plants inoculated only with AMF had an intermediate colonization percentage (62.65%), while plants inoculated with RI and organic or chemical fertilizers were applied, showed higher colonization percentages, especially the RI + organic fertilizer treatment (90.28%). These results suggest that the use of AMF could be a good alternative to change conventional agricultural practices towards more sustainable ones.

**Resumen**— El cultivo de *Agave tequilana* se ha intensificado debido a su gran demanda, con ello, también el uso de agroquímicos que en exceso pueden generar daños al ambiente, por lo que, es necesario explorar alternativas dirigidas hacia prácticas agrícolas más amigables con el ambiente. El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como *Rizophagus intraradices* (RI) puede ayudar a disminuir el uso de agroquímicos y su impacto, ya que, otorga beneficios y características ventajosas a las plantas con quien establece simbiosis (micorriza). El objetivo de este trabajo fue evaluar el porcentaje de colonización de RI en hijuelos de *A. tequilana* y en combinación con fertilizantes de origen orgánico y químico. Se estableció un experimento con un diseño completamente al azar en el que se evaluaron 6 tratamientos con 16 repeticiones. En un análisis preliminar se procesaron 3 plantas de cada tratamiento a los 90 días después del trasplante para determinar el porcentaje de colonización de RI. Las plantas de agave inoculadas solo con el HMA tuvieron un porcentaje de colonización intermedio (62.65%), mientras que en combinación con los fertilizantes orgánico y químico se generaron condiciones que promovieron una colonización alta, sobre todo el tratamiento RI + Fertilizante orgánico

(90.28%). Los resultados sugieren que el uso de HMA podría ser una buena alternativa para dirigir las prácticas agrícolas convencionales hacia prácticas más sustentables.

**Palabras clave**— hongos micorrízicos arbusculares, *Agave tequilana*, colonización, crecimiento vegetal,

## I. INTRODUCCIÓN

El agave azul, *Agave tequilana*. F. A. C. Weber var. azul [1] es la materia prima principal para la elaboración de la bebida espirituosa llamada tequila. La alta demanda de este producto provocó que el cultivo de dicha especie se intensificara y con ello también el uso de agroquímicos (herbicidas, fertilizantes y plaguicidas) lo que ha resultado en un deterioro ambiental y en el aumento de riesgos a la salud humana, de la fauna y de la flora [2].

Una alternativa al uso exagerado de agroquímicos es la aplicación de productos biológicos o de origen orgánico para minimizar el impacto ambiental. Actualmente se están llevando a cabo diversos estudios con diferentes microorganismos benéficos como lo son los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), ya que, son hongos microscópicos que establecen la relación simbiótica más importante (micorriza) con las plantas terrestre[3]. Se ha observado que las plantas asociadas a los HMA adquieren beneficios como, un mayor crecimiento vegetal [4] y protección contra patógenos [5], entre otros beneficios. Específicamente, los estudios sobre colonización de HMA y sus beneficios en *A. tequilana* son escasos. En [6] por ejemplo, los autores compararon los efectos en el crecimiento, en la fotosíntesis y en la anatomía foliar al inocular plantas de *A. tequilana* con dos especies de HMA, *Glomus fasciculatum* y *G. intraradices* (ahora *R. intraradices*). Por otra parte, los autores en [7] Evaluaron el crecimiento vegetal de *A. tequilana* al ser inoculados con un consorcio de HMA provenientes de la rizosfera de *A. cupreata*, además usaron a *R. intraradices* para comparar las diferencias entre los efectos de los consorcios y las cepas puras. Mientras que, en [8] los autores compararon los efectos en el crecimiento cuando inocularon bulbilos de *A. tequilana* con *R. intraradices* y con diferentes consorcios de HMA. Los tres estudios coinciden en que la colonización favorece el crecimiento de la planta, sin embargo, se desconoce el porcentaje ideal de colonización que deben tener las plantas para obtener los mayores beneficios de su asociación con el

HMA, es por ello que el objetivo de este estudio consiste en evaluar, en una primera etapa, el porcentaje de colonización de *R. intraradices* (HMA) en hijuelos de agave azul bajo condiciones similares a las que se someten en la región de Arandas (Altos Sur), Jalisco, México.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Diseño y Establecimiento de Experimento:

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, que consistió en 6 tratamientos con 16 repeticiones, teniendo así 96 unidades experimentales. El experimento fue establecido dentro de las instalaciones del TECMM-Arandas en condiciones de semi campo. Los Tratamientos consistieron en la aplicación de los HMA y su combinación con fertilizante de origen orgánico (Lixius®) y fertilizante químico (Caltrack® y Smartrack®) como puede observarse en a Tabla 1.

### B. Preparación del sustrato para el establecimiento del experimento:

Se extrajo aproximadamente una tonelada de suelo franco- arcilloso de las instalaciones del TECMM-Arandas. Posteriormente, el suelo fue colocado en costales para su esterilización en una autoclave a 120°C durante 3h. Una vez esterilizado, se llenaron 96 macetas de plástico con 10 K de suelo. Las macetas se regaron a capacidad de campo un día antes del trasplante.

### C. Inoculación y Trasplante:

En cada maceta se trasplantó un hijuelo de tamaño naranja (30-50 cm altura). Los tratamientos inoculados con HMA se aplicaron justo en el momento del trasplante, mientras que el tratamiento de origen orgánico de aplico una vez al mes y el tratamiento químico una sola vez 15 días después del trasplante (Tabla 1).

### D. Tinción, Montaje y Determinación del Porcentaje de Colonización de las Raíces:

120 días después de la inoculación se tomaron 3 plantas de cada tratamiento para evaluar la colonización de HMA en las raíces a *A. tequilana*, para lo cual, se clarearon y tiñeron las raíces de acuerdo con el procedimiento establecido por [9]. La determinación del porcentaje de colonización por HMA se realizó de acuerdo con la técnica propuesta por [10] en la que se montan 20 raíces de 1 cm en un portaobjetos para posteriormente revisar cada raíz en el microscopio.

## III. RESULTADOS (PRELIMINARES)

Se analizaron 180 raíces por cada tratamiento (Figura 1). La colonización de *R. intraradices* presentó un mayor porcentaje en las raíces del tratamiento OCM (90.28%), seguido del tratamiento QCM (84.26%), mientras que el tratamiento sin fertilizante (RI) presentó un porcentaje de 62.65%. Los otros tratamientos ST (16.18%), OSM (2.18%) y QSM (2.94%) presentaron un porcentaje bajo de colonización a pesar de no haber sido inoculados.

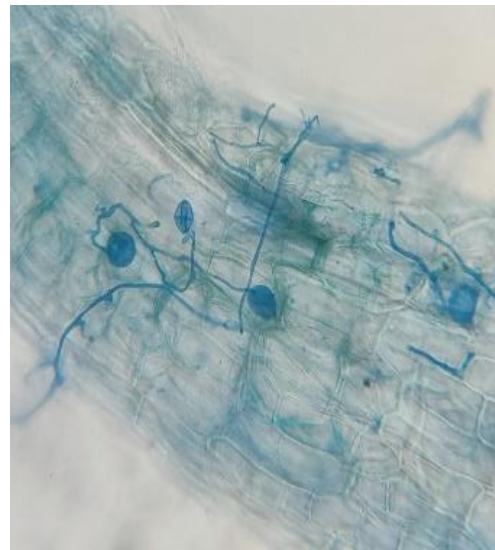


Fig. 1. Colonización de *R. intraradices* en raíces de agave azul. Observación a 40X .

TABLA I

DISEÑO DE TRATAMIENTOS DE INOCULACIÓN DE HMA EN COMBINACIÓN CON FERTILIZANTES (ORGÁNICO Y QUÍMICO),  
APLICADOS A AGAVE AZUL (AGAVE TEQUILANA VAR. AZUL)

Tratamiento	Factor	Cantidad aplicada	Periodo de aplicación
1	ST	Sin HMA ni fertilizante	
2	RI	<i>Rhizopagus intraradices</i> (INIFAP) 2 g (aproximadamente 100 esporas)	En el momento del trasplante.
3	OSM	Fertilizante orgánico (lixiviados de lombriz)	Mensual.
4	OCM	Fertilizante orgánico + RI	RI solo al momento del trasplante. El fertilizante orgánico mensual.
5	QSM	Fertilizante químico (N, P y C)	Una sola aplicación 15 días después del trasplante
6	QCM	Fertilizante químico + RI	RI una sola vez al momento del trasplante + una sola aplicación 15 días después del trasplante.

ST= Sin tratamiento; RI= *Rhizopagus intraradices*; OSM= Orgánico sin microorganismo; OCM= Orgánico con microorganismo (RI); QSM= Químico sin microorganismo; QCM= Químico con microorganismo (RI).

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados preliminares indican en todos los tratamientos con el HMA *R. intraradices* hubo un alto porcentaje de colonización, sin embargo, el tratamiento con fertilizante de origen orgánico más el HMA presentó el mayor porcentaje de colonización, lo cual, sugiere que existe una condición que promueve la colonización incluso mejor que en el tratamiento sin fertilizantes (RI). Estos resultados coinciden con [6] en que *R. intraradices* logra colonizar las raíces de *A. tequilana*, pero difieren en el porcentaje de colonización, ya que los autores mencionan que *R. intraradices* por sí solo presenta 93% de colonización a los 90 días después del trasplante. Por otra parte [7, 8] reportan tan solo 30 % y 28 % de colonización de *R. Intraradices* en raíces de *A. tequilana* a los 300 y 120 días después del trasplante. Las diferencias que podemos observar respecto al porcentaje de colonización pueden deberse a las condiciones ambientales (temperatura promedio, humedad relativa, precipitación promedio, elevación) de cada sitio, al origen de los hijuelos, estado de hidratación, tamaño o edad, tipo de sustrato y cantidad en el que se trasplanta, tiempo en el que se determina la colonización, entre otros factores.

A pesar de las diferencias en los porcentajes de colonización, todos los estudios antes mencionados concluyen que *A. tequila* presenta mayor crecimiento vegetal cuando se encuentra micorrizada con *R. intraradices* en contraste con los tratamientos sin HMA, por lo que, su aplicación podría ser es una alternativa más

sustentable en la producción agrícola de agave azul, sin embargo, es necesario realizar que nos permitan corroborar que en nuestro caso *R. intraradices* verdaderamente promovió el crecimiento vegetal de *A. tequilana*.

#### V. CONCLUSIÓN

El porcentaje de colonización del HMA *R. intraradices* fue de 62.65%. Este valor es intermedio comparado con otros trabajos en los que *A. tequilana* es inoculada con este mismo HMA. Se observó que los tratamientos combinados con el HMA y fertilizantes (orgánico y químico) promovieron un mayor porcentaje de colonización, lo que sugiere que los fertilizantes generan alguna condición que favorece la micorrización, por lo que, es importante realizar las evaluaciones correspondientes que nos permitan reconocer dichas condiciones. Finalmente, es necesario evaluar si en nuestro caso, verdaderamente se promovió el crecimiento vegetal del agave azul, esto, con la finalidad de proponer la aplicación de este HMA para el cultivo de *A. tequilana*.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ignacio Silvestre Romero Salazar, Natalia Hernández Velázquez, Daniela Henríquez Hernández, Juan José Vázquez Márquez, María Fernanda Zaragoza González y Yoali Aguilar González, estudiantes de servicio social y residencias profesionales que ayudaron en el trasplante. Al Ing. Norberto Santiago Olivares por su asesoría en el uso de la caldera y finalmente al Dr. Oscar Arath Grajeda Cabrera por la donación de esporas de *R. intraradices* (producto comercial del INIFAP).

## REFERENCIAS

- [1] H. S. Gentry, *Agaves of Continental North America*. Tucson, Arizona, USA: The University of Arizona Press, 1982, 670 p.
- [2] T. Gomiero, D. Pimentel and M. G. Paoletti, "Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs organic agriculture". *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 30(1-2), pp.95-124, 2011, <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- [3] A. Schüßler, H. Martin, D. Cohen, M. Fitz and D. Wipf, "Arbuscular mycorrhiza: studies on the geosiphon symbiosis lead to the characterization of the first glomeromycotan sugar transporter", *Plant Signaling and Behavior*, vol. 2(5), pp. 431-434, 2007, <https://doi.org/10.4161/psb.2.5.4465>
- [4] S. E. Smith and F. A. Smith. "Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth," *Mycologia*, vol. 104(1), pp.1-13, 2012, <http://doi.org/10.3852/11-229>
- [5] J. R. Trinidad Cruz, E. E. Quiñones Aguilar, L. V. Hernández Cuevas, L. López Pérez and G. Rincón Enríquez, "Hongos micorrícicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México", *Revista Mexicana de Micología*. Vol. 45, pp. 13-25, 2017.
- [6] E. Pimienta Barrios, J. Zañudo Hernández and E. López Alcocer, "Efecto de las micorrizas arbusculares en el crecimiento, fotosíntesis y anatomía foliar de plantas jóvenes *Agave tequilana*", *Acta Botánica Mexicana*, vol. 89, pp. 63-78, 2009.
- [7] A. C. Montoya Martínez, G. Rincón Enríquez, P. Lobit, L. López Pérez, and E. E. Quinones Aguilar, "Native arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of *Agave cupreata* and their effect on *Agave tequilana* growth," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 42(4), pp. 429-438, 2019.
- [8] E. E. Quiñones Aguilar, A. C. Montoya Martínez, G. Rincón Enríquez and L. López Pérez, "Inoculación de bulbilos de *Agave tequilana* con hongos micorrícicos arbusculares: efecto en el crecimiento y biocontrol contra *Fusarium oxysporum*", *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol 24(1), 2023, [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:3043](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3043)
- [9] J. M. Phillips and D. S. Hayman, "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection", *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55(1), pp. 158-161, 1970.
- [10] T. Mcgonigle, M. Miller, D. Evans, G. Fairchild, and J. Swan, "A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi", *New Phytologist*, vol. 115, pp. 495-501, 1990.