



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**Centro Interdisciplinario de Investigación para el
Desarrollo Integral Regional**

Unidad Michoacán

**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO SOBRE
LA RESPUESTA A LA INOCULACIÓN DE CONSORCIOS
MICORRÍMICOS EN FRESA**

Realizada por:

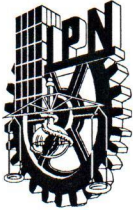
Mariana Villa Santiago

Directores de tesis:

Dra. María Valentina Angoa Pérez

Dr. Víctor Olalde Portugal

Jiquilpan, Michoacán, noviembre 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Mich., siendo las 9 horas del día 18 del mes de noviembre del 2021 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CIIDIR IPN Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

Efecto de la concentración de fósforo sobre la respuesta a la inoculación de consorcios micorrícicos en fresa del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Villa	Apellido Materno:	Santiago	Nombre (s):	Mariana
-------------------	-------	-------------------	----------	-------------	---------

Número de registro: B 1 9 1 0 0 1
Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 25 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: El porcentaje obtenido es debido a que el programa identificó citas que están referenciadas en el texto y frases técnicas similares a las de otros documentos, por lo cual no se considera que en la escritura del documento se incurrió en plagio

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

Se considera que el trabajo contribuyó el conocimiento, es original y reúne las características académicas y de calidad necesarias para el otorgamiento del grado a la estudiante

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

 _____ Dra. María Valentina Angoa Pérez Director de Tesis Nombre completo y firma	 _____ Dra. Hortencia Gabriela Mena Violante Nombre completo y firma	 _____ Dr. Alberto Julián Valencia Botín Nombre completo y firma
 _____ Dr. Víctor Ojalde Portugal 2º Director de Tesis (en su caso) Nombre completo y firma	 _____ M. en C. Guadalupe Oyoque Salcedo Nombre completo y firma	 _____ Dra. María Valentina Angoa Pérez Nombre completo y firma





**INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL**
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 25 del mes de Diciembre del año 2021, la que suscribe **Mariana Villa Santiago** alumna del Programa de **Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable**, con número de registro **B191001**, adscrita al **CIIDIR IPN Unidad Michoacán**, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **Dra. María Valentina Angoa Pérez** y el **Dr. Víctor Olalde Portugal** y cede los derechos del trabajo titulado **“Efecto de la concentración de fósforo sobre la respuesta a la inoculación de consorcios micorrícicos en fresa”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: marivilla1996@outlook.com, vangoa@ipn.mx y victor.olalde@cinvestav.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Mariana Villa Santiago
Nombre y firma de la alumna

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado, también al Instituto Politécnico Nacional por a verme brindado el apoyo económico a través de la beca institucional, así como a la Secretaria de Investigación y Posgrado (SIP) del IPN, por el apoyo otorgado a través del Programa Institucional para la Formación de Investigadores (PIFI).

Al CIIDIR IPN Michoacán por darme un espacio para poder formarme académicamente, así como a los profesores y todo el personal académico, gracias por todo su apoyo.

A la Dra. María Valentina Angoa Pérez por su apoyo incondicional, asesoría y enseñanzas durante todo el proceso de la Maestría. Fue un honor a ver trabajado con usted, una persona con un enorme corazón, inteligencia y paciencia. Jamás olvidare todo el apoyo que me ha brindado desde el momento que la conocí. Infinitas gracias Dra. Vale.

Al Dr. Víctor Olalde Portugal por su dirección y apoyo a cada momento, muchas gracias.

A los integrantes de mi comité la Dra. Hortencia Mena Violante, al Dr. Alberto Julián Valencia Botín y la Maestra Lupita Oyoque por su asesoría y apoyo incondicional en todo momento. Muchas gracias estimado comité.

A mis compañeros y amigos Zaida Ochoa y Osvaldo Bernal, por los buenos momentos y apoyo incondicional.

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis Padres y Hermanos.

RESUMEN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) pertenece al grupo de las berries o frutillas. Su fruto se le considera de alto valor comercial con beneficios en la alimentación humana, sin embargo; la producción agrícola de esta frutilla convencionalmente al igual que otros cultivos de interés, requieren del uso intensivo de fertilizantes químicos, lo que ha generado serios problemas en el entorno productivo y en el medio ambiente. Por lo anterior, se han implementado estrategias que ayuden a la disminución de esta problemática como la utilización de hongos formadores de micorrizas (HM). La micorriza o micorrización es la asociación simbiótica del hongo con las raíces de las plantas. Esta asociación se considera mutualista debido a que ambos individuos resultan beneficiados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un consorcio de hongos micorrícicos nativos de arándano silvestre (*Vaccinium stenophyllum* Steud.) y de un producto orgánico comercial que contiene dos especies de género *Glomus* (*G. intraradices* y *G. fasciculatum*) sobre la asociación, desarrollo y calidad de fresa comercial bajo diferentes niveles de fósforo en condiciones de invernadero. Se realizó colecta de suelo rizosférico de plantas de arándano así como aislamiento de los hongos micorrícicos (HM). Para evaluar su asociación con plantas de fresa se realizó un estudio preliminar que permitió saber la eficacia de los consorcios micorrícicos utilizados frente al ataque el hongo fitopatógeno *Fusarium sp.*

Se realizó un segundo experimento con el fin de llegar a la producción y determinación de la calidad interna de los frutos de fresa, para esto se establecieron nueve tratamientos, todos ellos con plantas var. "festival" y diferentes niveles de fertilización de fósforo a 0, 30 y 60 ppm. Tres tratamientos se inocularon con el consorcio de HM silvestre (HMS), tres con el consorcio de HM comercial (HMC) y tres sin inóculo micorrícico (CTL). Todos los tratamientos tuvieron 10 repeticiones. Los parámetros evaluados fueron: calidad interna del fruto, rendimiento, colonización, altura y clorofila de las plantas. Los resultados se analizaron con un análisis bidireccional en el programa R Studio. Los tratamientos que fueron inoculados con los consorcios micorrícicos resultaron ser superiores

estadísticamente ($p < 0.05$) para la mayoría de los parámetros analizados comparados con los tratamientos CTL, sin embargo; se observó mayor colonización, eficacia en la mayoría de los parámetros de calidad de los frutos y rendimiento en los tratamientos inoculados con los HMS independientemente de los diferentes niveles de P adicionado.

Palabras clave: micorrizas, arándano silvestre, simbiosis, berries.

ABSTRACT

The strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) belongs to the group of berries or strawberries. Its fruit is considered to be of high commercial value with benefits for human consumption, however; The agricultural production of this strawberry conventionally, like other crops of interest, requires the intensive use of chemical fertilizers, which has generated serious problems in the productive environment and the environment. Therefore, strategies have been implemented to help reduce this problem, such as the use of mycorrhizal fungi (MF). Mycorrhiza or mycorrhization is the symbiotic association of the fungus with the roots of plants. This association is considered mutualistic because both individuals benefit. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of a consortium of mycorrhizal fungi native to wild blueberry (*Vaccinium stenophyllum* Steud.) And of a commercial organic product containing two species of the genus *Glomus* (*G. intraradices* and *G. fasciculatum*) on the association, development and quality of commercial strawberries under different levels of phosphorus under greenhouse conditions. Collection of rhizospheric soil from blueberry plants was carried out, as well as isolation of mycorrhizal fungi (MF). To evaluate its association with strawberry plants, a preliminary study was carried out that revealed the efficacy of the mycorrhizal consortia used against the attack of the phytopathogenic fungus *Fusarium sp.*

A second experiment was carried out in order to reach the production and determination of the internal quality of the strawberry fruits, for this nine treatments were established, all of them with var plants. "Festival" and different levels of phosphorus fertilization at 0, 30 and 60 ppm. Three treatments were inoculated with the wild MH consortium (HMS), three with the commercial HM consortium (HMC) and three without mycorrhizal inoculum (CTL). All treatments had 10 repetitions. The parameters evaluated were: internal quality of the fruit, yield, colonization, height and chlorophyll of the plants. The results were analyzed with a bidirectional analysis in the R Studio program. The treatments that were inoculated with the mycorrhizal consortia turned out to be statistically superior ($p < 0.05$) for most of the parameters analyzed compared to the CTL treatments, however; Greater colonization, efficacy

in most of the fruit quality parameters and yield were observed in the treatments inoculated with HMS regardless of the different levels of added P.

Keywords: mycorrhizae, wild blueberry, symbiosis, berries.

ÍNDICE

Sección	Página
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
Generalidades de las berries o frutillas	15
Aportes nutricionales y efecto antibacteriano	15
La fresa	16
Características botánicas de la fresa	17
Importancia económica	18
Exportación y producción de las fresas en México	18
Impacto social	19
Aportes nutricionales y nutraceuticos del fruto de la fresa	19
Composición de la fresa	20
Compuestos fenolicos como nutraceuticos	20
Los flavonoides	21
Las antocianinas	22
EL ARÁNDANO SILVESTRE	23
Historia del arándano	23
Principales especies de arándano silvestre en América	23
<i>Vaccinium stenophyllum</i> Stead.	25
Uso de microorganismos en la nutrición	26
Las micorrizas	27
¿Qué son las micorrizas?	28
Beneficios de las micorrizas	29
Clasificación taxonómica de los hongos formadores de micorrizas	31
Micorriza arbuscular	33
Reconocimiento simbiótico entre las plantas y los hongos micorrizicos arbusculares 33	
III. JUSTIFICACIÓN	38
IV Objetivo general	39
Objetivos particulares	39
V. MATERIALES Y MÉTODOS	40
Material biológico	40
Aislamiento de hongos micorrizicos a partir de suelo de arándano silvestre	40

Aislamiento y cuantificación de las esporas presentes en los inóculos utilizados	40
Experimentos en el invernadero	41
Evaluación preliminar de la asociación de los HM con plantas de fresa var. “Frontera”	41
Variables agronómicas a evaluar en plantas de fresa cv. Frontera	42
Cuantificación de la biomasa vegetal (g) de las plantas de fresa	42
Evaluación de la asociación de los HM con plantas de fresa var. “Festival”	43
Variables agronómicas a evaluar en plantas de fresa var. “Festival”	45
Altura de la planta	45
Determinación del contenido de clorofila	45
Cuantificación de la biomasa vegetal (g) de las plantas de fresa	45
Variables de producción	45
Rendimiento	46
Calidad interna	46
Análisis fisicoquímicos (°Brix, pH, porcentaje de acidez titulable y firmeza)	46
Análisis de compuestos nutraceuticos	47
Contenido de fenoles totales	47
Contenido de flavonoides totales	47
Contenido de antocianinas totales	48
Cuantificación de la colonización de los HM en las plantas de fresa	49
Cuantificación de las esporas presentes en las plantas de fresa	49
Análisis estadísticos	49
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
Variables agronómicas de las plantas de fresa cv. “Festival” del segundo experimento	61
Calidad interna de los frutos de fresa var. “Festival”	72
Colonización de plantas de fresa var. “Festival” por los HM	76
Cuantificación de las esporas por gramo de suelo presentes en las plantas de fresa var. “Festival”	81
VII. CONCLUSIONES	83
VIII. REFERENCIAS	84

Índice de figuras

Figura 1. Estructura química del fenol.....	21
Figura 2. Estructura del Flavonoide.....	21
Figura 3. Estructura y tipos de antocianinas.....	22
Figura 4. Frutos silvestres del género <i>Vaccinium</i>	24
Figura 5. Planta del herbario de <i>Vaccinium stenophyllum</i> Stead.....	25
Figura 6. Escala de maduración con base en el color.....	46
Figura 7. Cantidad de esporas por gramo de suelo según los diferentes inóculos.....	50
Figura 8. Biomasa fresca y seca (g) foliar.....	51
Figura 9. Biomasa fresca y seca (g) radicular.....	52
Figura 10. Porcentaje de colonización.....	53
Figura 11. Colonización de HM en las raíces de los diferentes tratamientos.....	54
Figura 12. Número de esporas por gramo de suelo presentes en los sustratos de las plantas de fresa.....	55
Figura 13. Colonias de <i>Fusarium</i> sp.....	56
Figura 14. Colonias fúngicas obtenidas de muestras de raíz y corona de plantas de fresa inoculadas con HMA.....	57
Figura 15. Colonias fúngicas de los aislamientos a partir de raíz de fresa cv. “Frontera”.....	57
Figura 16. Macro y microconidios de las colonias fúngicas de <i>Fusarium</i> sp.....	58
Figura 17. Porcentaje de viabilidad de las plantas de fresa después del ataque por el hongo fitopatógeno <i>Fusarium</i> sp. y araña roja.....	60
Figura 18. Plantas de fresa frente al ataque del hongo fitopatógeno <i>Fusarium</i> sp. y Araña roja.....	60
Figura 19. Estimación de clorofila en fresa cv. “Festival”.....	62
Figura 20. Altura de las plantas inoculadas con HM y control.....	64
Figura 21. Rendimiento de fresa cv. “festival”.....	67
Figura 22. Promedio de frutos en fresa cv. “Festival”.....	69
Figura 23. Tamaño de frutos de fresa cv. “Festival”.....	70
Figura 24. Peso de los frutos de fresa inoculadas con HM y control.....	71
Figura 25. Estructuras de colonización micorrícica con HMS.....	78
Figura 26. Estructuras de colonización micorrícica con HMC.....	79
Figura 27. Colonización en raíz de plantas de fresa.....	80
Figura 28. Cuantificación de las esporas/g de suelo presentes en los diferentes tratamientos.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie, rendimiento, y producción de los principales cinco países exportadores de fresas en el mundo, en el 2016.	18
Cuadro 2. Tratamientos con hongos micorrícicos y niveles de fósforo aplicados a plantas de fresa cv. "Festival".....	44
Cuadro 3. Biomasa radicular y foliar de plantas de fresa cv. "Festival" inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.	66
Cuadro 4. Características de calidad interna de los frutos de fresa cv. "Festival" inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.	73
Cuadro 5. Compuestos nutraceuticos de los frutos de fresa cv. "Festival" inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.	75
Cuadro 6. Colonización de los hongos micorrícicos en las plantas de fresa cv. "Festival" inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.	77

I. INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duchth.) y el arándano (*Vaccinium* spp.) pertenecen al grupo de las berries, también conocidas como frutillas. El cultivo de la fresa como el resto de berries, se considera importante por los beneficios que su consumo aporta a la salud de los consumidores; gracias a los nutrientes que contienen, les otorga la capacidad de combatir y prevenir algunas enfermedades tales como: la diabetes, dislipidemia, el cáncer; además de que confieren efecto antiinflamatorio y pueden activar la protección celular antioxidante. Un factor más que muestra la importancia de la producción de estas frutillas, es la derrama económica que deja a los países productores y exportadores (Pervin *et al.*, 2013; García *et al.*, 2018).

Por otro lado, la producción tecnificada de los cultivos incluyendo las berries, han ocasionado severos problemas de contaminación en el entorno productivo y en el medio ambiente con el uso desmedido de fertilizantes y otros agroquímicos. Una alternativa de solución ante esta problemática podría ser la utilización de biofertilizantes a base de hongos micorrícicos nativos de arándanos silvestres.

En este sentido, la fresa como los arándanos silvestres al ser micotróficos tienen la capacidad de asociarse con los HM y formar asociaciones micorrícicas, para así, ambos resultar beneficiados (asociación mutualista), ya que la interacción de especies nativas de hongos micorrícicos aislados de especies silvestres de arándano podrían conferirle efectos benéficos sobre la captación de nutrientes, asimilación de los mismos y por ende disminuir el uso de fertilizantes químicos para la nutrición y bioestimulación de dichos cultivos.

Existen pocos estudios sobre la evolución del efecto de hongos micorrícicos nativos de plantas silvestres de arándano sobre el desarrollo de esta misma planta, uno de ellos es el de Jeliaskova y Percival (2003), ellos encontraron que las micorrizas nativas tipo ericoide de *Vaccinium angustifolium* pueden ayudar a tolerar la sequía en esta especie, sin verse afectada la colonización por el estrés hídrico. Hasta donde tenemos conocimiento, solamente existe un reporte de Villa (2019), sobre la detección de hongos micorrícicos nativos asociados a plantas de arándano silvestre

en Puebla, México. Sin embargo, en otra especie de la Familia Arecaceae, en una parcela abandonada por 8 años de cocotero (*Desmoncus orthacanthos* Marthius), en la Península de Yucatán, México, mostraron que es posible encontrar micorrizas arbusculares en todas las estaciones del año evaluadas. La actividad que le confería la micorriza al cocotero fue la de tolerancia a sequía y en cierta forma mayor actividad para absorción de nutrimentos (Ramos-Zapata *et al.*, 2006). El papel de los HM como biofertilizante puede potencializar la adaptabilidad de las plantas en su entorno y se cree que la utilización de estos podría ayudar a disminuir la cantidad de los fertilizantes inorgánicos en los cultivos en un futuro, pues se sabe que los HM pueden ayudar a la toma y asimilación de distintos nutrimentos, en especial el fósforo (P). En este sentido, se sabe que los HM establecen una simbiosis con las raíces de las plantas para obtener nutrientes esenciales, como el N, P, K, Ca, Zn y S (Begum *et al.*, 2019). El P además de ser uno de los macroelementos más importantes para las plantas se considera también como un factor que podría limitar el establecimiento simbiótico (Cobralles *et al.*, 2016). Alarcón y Ferrera-Cerrato (2003), realizaron un estudio donde evaluaron el efecto de la aplicación de P sobre el crecimiento y la nutrición de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, inoculado con un consorcio de *Glomus* con diferentes niveles de fertilización de P a 0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg P kg⁻¹ de suelo, y tuvieron como resultados un incremento en las concentraciones de N, P, y K en hojas comparados con los tratamientos no inoculados; de igual manera reportaron mayor absorción y aprovechamiento de K en hojas y raíces y mayores concentraciones de N foliar y P en las raíces con el nivel de fertilización de 60 mg de P kg⁻¹. Estos autores observaron que la aplicación del P no influyó en las variables de crecimiento de las plantas no inoculadas pero sí en las inoculadas con el consorcio micorrícico.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de los hongos micorrícicos nativos de arándano silvestre (*Vaccinium stenophyllum* Steud) y comercial sobre la asociación, desarrollo y calidad de fresa comercial bajo diferentes niveles de fósforo en condiciones de invernadero.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizaron muestreos en la región conocida como Los gallineros del municipio de Cotija, Michoacán donde se encuentran plantas de arándano silvestre. Se colectaron muestras de suelo rizósferico de distintas plantas para generar una muestra compuesta y se usaron para el aislamiento de propágulos de HM, los cuales fueron evaluados en su capacidad de colonización de las raíces de plantas de fresa comercial las cuales fueron fertilizadas con distintos niveles de P. De igual manera, se analizó su efecto sobre el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de frutos de las plantas de fresa inoculadas, para determinar su potencial como biofertilizante y bioestimulador de dicho cultivo bajo los distintos regímenes de fertilización evaluados.

II. MARCO TEÓRICO

Generalidades de las berries o frutillas

Un factor importante para la economía agrícola en México es la exportación de frutas y hortalizas, ya sea en producto fresco o procesado (Ávila-Arce y González-Milán 2012). Entre las frutas más importantes en el sector productivo y de exportación se encuentran las berries o frutillas que son el cuarto producto agrícola exportado con una derrama económica en 2018 de poco más de 2,107 millones de dólares (Tecnoagro, 2019). El estado de Michoacán fue posicionado como el primer productor de berries a nivel nacional con un total de 19 mil 326 hectáreas sembradas para el 2016, siendo la segunda actividad económica con un valor de 7 mil 743 millones de pesos (Delegación SADER Michoacán, 2016).

Aportes nutricionales y efecto antibacteriano

Las berries tienen una amplia aceptación entre los consumidores por sus aportes nutricionales, así como por las propiedades medicinales resultado de la alta concentración de antioxidantes. En general, estas frutillas son una buena fuente de ácido clorogénico, quercetina, kaempferol, mircetina, procianidinas, catequina, epicatequina, resveratrol y vitamina C que son elementos que contribuyen a la actividad antioxidante y, por ende, a la salud humana (Pervin *et al.*, 2013).

Las frutillas adicionalmente contienen agua en un 90% de su peso y como la mayoría de las frutas es hidratante para el organismo. Son ricas en fibra, lo que favorece el tránsito intestinal, la reducción de grasas de la sangre como el colesterol y triglicéridos y los valores de glucemia. Son ricas en vitamina C, la cual ayuda a fortalecer el sistema inmunológico o de defensas del organismo y favorece la absorción del hierro. Son ricas en vitamina A (Betacarotenos) que son fundamentales para la piel, son antioxidantes, previenen el envejecimiento celular y favorecen la regeneración del colágeno. El color rojizo se debe a la presencia de pigmentos naturales llamados antocianinas, los cuales tienen efectos sobre los radicales libres, es decir, previenen la oxidación y el daño celular, pueden ayudar a prevenir enfermedades degenerativas, incluso el cáncer. Los polifenoles de las frutillas protegen ante enfermedades cardiovasculares. Adicionalmente, poseen gran contenido en potasio y muy bajo en sodio, lo que favorece la eliminación de líquidos, aspecto importante para hipertensos. Por su contenido en ácido fólico se recomienda el consumo durante el embarazo para evitar malformaciones en los fetos (Misiones Online, 2017).

Dentro del grupo de las frutillas, una de las más importantes a nivel nacional y estatal por la extensión dedicada a su producción y los aportes económicos que brinda, es la fresa.

La fresa

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es una planta octoploide perteneciente a la familia Rosaceae. Se originó como un híbrido interespecífico entre las dos especies silvestres progenitoras *F. chiloensis* y *F. virginiana*. El género *Fragaria* fue denominado por el botánico Carl Linnaeus. Utilizó la palabra latina “*fragrans*” que significa “perfume dulce” describiendo a este fruto llamativo y muy aromático, lo cual es un factor distintivo importante además del sabor por el cual ha sido ampliamente aceptada por los consumidores (Edger *et al.*, 2019).

El cultivo de la fresa en México se introdujo en 1849, para 1852 se cultivó en Irapuato, Guanajuato; debido a su aceptación y producción, dicho estado a partir de los años 40's fue posicionado como el mayor productor de fresa en México, pero

por diferentes factores como las cuotas que en ese entonces se establecieron por la producción y exportación de este cultivo, los factores bióticos, abióticos, sociales y la falta de tecnología, tuvo una disminución en la producción de fresa. Guanajuato no ha logrado aumentar sus rendimientos de manera significativa desde el 2007 con 20.3 ton ha⁻¹ (León-López *et al.*, 2014). Sin embargo, desde 1950 debido a su gran demanda en los EE. UU., el cultivo de la fresa se extendió al estado de Michoacán posicionándolo como el principal productor a nivel nacional (Ávila-Arce y González-Milán 2012).

Características botánicas de la fresa

La fresa es una planta herbácea rastrera considerada perenne de corta vida, con un tamaño aproximado de 50 cm de altura. Se caracteriza porque sus órganos y hojas crecen en la parte leñosa de la corona (Bogotá, 2015; Tecnoagro, 2019). Tiene un sistema radicular fasciculado compuesto por raíces fibrosas primarias y secundarias, al igual que posee raicillas, las raíces pueden alcanzar aproximadamente de 30 a 40 cm de profundidad (Huachi-Avila 2019; Tecnoagro 2019). Los tallos son cortos y de forma cónica, demasiado importante porque ramifica unas estructuras llamadas estolones, estos estolones tienen la capacidad de generar nuevas plantas ayudando a la propagación (Huachi-Avila, 2019). Sus hojas arrosetadas, conocidas como “falsas rosetas”, están compuestas por tres hojas de bordes aserrados (Bogotá, 2015; Tecnoagro, 2019). La corona llamada también roseta, es la encargada de sostener los tejidos vasculares (Bogotá, 2015). Las flores son de color blanco, tienen un cáliz de 5 sépalos y 5 pétalos y una gran cantidad de estambres (Tecnoagro, 2019) y los frutos son de color rojo de sabor dulce y un peculiar aroma, formados por una infrutescencia, a su vez formada por la fusión de muchos carpelos secos sobre un receptáculo pulposo, tiene una vida de anaquel muy corta y es no climatérico, es decir, que no continúa con el proceso de maduración una vez cosechado. Además del agradable sabor, es rico en vitaminas y compuestos nutraceuticos (Fraire-Cordero *et al.*, 2003; Tecnoagro, 2019).

Importancia económica

En el estado de Michoacán se produce más del 70% del cultivo de la fresa con un valor en el mercado de 9,500 millones de pesos. Su producción se encuentra ubicado en 32 municipios de la entidad, sin embargo, Zamora, Jacona y Tangancícuaro generan aproximadamente el 70 % de la producción (Valerio-Salgado *et al.*, 2019).

Exportación y producción de las fresas en México

Una característica importante del cultivo de la fresa es la derrama económica que confiere a los productores y exportadores. México es el tercer exportador con base en superficie, rendimiento y producción de fresa en el mundo (Cuadro 1). Tan sólo en 2018 exportó 102,631 ton; mismas que se cultivaron en 13,564 ha. Para ese mismo año el total de producción fue de 611,770 ton (Bárcenas-Santana, 2019).

Cuadro 1. Superficie, rendimiento, y producción de los principales cinco países exportadores de fresas en el mundo, en el 2016.

País	Superficie (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Toneladas
China	141,498	26.86	3,801,865
USA	21,242	66.87	1,420,570
México	11,091	42.21	468,248
España	7,685	47.64	366,161
Canadá	2,868	7.62	21,858
Total	184,384	38.24*	6,078,702

Fuente: FAOSTAT (2018). * Se refiere al promedio de rendimiento en los 5 países.

Los principales estados productores a nivel nacional para el 2020 mencionados en orden de importancia fueron: Michoacán con 6,246 ha, Baja California con 2,916 ha, Baja California Sur con 140 ha, México con 19 ha, Morelos con 8 ha, Oaxaca con 7 ha y Jalisco con 6 ha, con un total en la producción de 425,007 ton (SIAP, 2020).

Impacto social

Los efectos sociales como la generación de mano de obra resultan también muy importantes en la producción de frutillas. Por ejemplo, tan sólo en 2016 se estimó que la agroindustria de fresa en México generó 13,186 empleos directos y 1,810 empleos indirectos en campo. Durante su procesamiento industrial intervinieron 3,955 empleos directos y 540 indirectos, con lo que se estimó un total de 15,000 empleos directos y 4,500 empleos indirectos a lo largo de la cadena productiva (Rodríguez *et al.*, 2016).

Por lo anterior, se concluye que la producción de la fresa a nivel regional como nacional genera cantidad de empleos, siendo un referente de impacto social. En Baja California se considera un cultivo de gran importancia por el empleo que se genera en la época de cosecha, la gran cantidad de actividades que se necesitan llevar a cabo en las empacadoras, así como las que surgen para su producción (Ávila-Arce y González-Milán 2012).

Aportes nutricionales y nutraceuticos del fruto de la fresa

La fresa (*Fragaria* spp.) se caracteriza como uno de los cultivos más importantes para la salud humana. Su consumo se debe a sus características gustativas, olfativas y sobre todo a las aportaciones nutrimentales que el fruto contiene como el alto contenido de taninos, flavonoides, antocianinas en particular la pelagonidina 3-glucósido y la cianidina 3-glucósido que son las que mayormente se encuentran en el fruto. También se menciona la catequina, quercetina, kaempferol, ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, salicílico y elágico), minerales (K, P, Ca, Na y Fe), vitaminas A y C y polifenoles que le confieren un gran poder antioxidante que puede ser benéfico para la salud. Estos compuestos que el fruto de la fresa contiene, le dan el potencial para auxiliar al cuerpo humano con diversas enfermedades como la prevención de tumores, disminución de riesgos cardiovasculares y trombosis, además de tener una alta actividad antioxidante, así como la prevención de carcinogénesis (Aimacaña, 2019; Bárcenas-Santana, 2019; Restrepo *et al.*, 2019).

También se ha reportado la capacidad antibacteriana de esta frutilla. En este sentido, se ha reportado que el consumo de fresa previene la caries causada por

Streptococcus mutans y la formación de biopelículas de especies patógenas por el efecto de compuestos fenólicos o elangitaninos (Aimacaña, 2019).

Composición de la fresa

En términos generales, la fresa se caracteriza por aportar 35 Kcal por cada porción de 100 g. Químicamente, esta frutilla se compone de 89.6% de agua, 7% de hidratos de carbono, 0.7% de proteínas, 0.5% de lípidos y 2.2% de fibra (Moreiras *et al.*, 1992; Chordi, 2013).

La porción comestible de la fresa presenta un contenido de azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa con 2.6, 2.3 y 1.3% respectivamente. Los minerales que se reporta contiene esta frutilla son en orden de importancia potasio, fósforo, calcio y magnesio. Respecto a vitaminas la principal es la vitamina C (Chordi, 2013).

Compuestos fenólicos como nutraceuticos

Los compuestos fenólicos son aquellas sustancias que poseen varios grupos funcionales fenol (Figura 1), que están unidos a estructuras aromáticas o alifáticas. Estos compuestos fenólicos se encuentran naturalmente como metabolitos secundarios en las plantas. Algunas de sus funciones son actuar como fitoalexinas que sirven para la protección de afectaciones fúngicas o bacterianas, pero también participan en la pigmentación de diversas partes de las plantas y en conferir el sabor de los frutos. Por estos motivos son considerados sustancias que influyen la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los frutos (Hidalgo-Murillo, 2004).

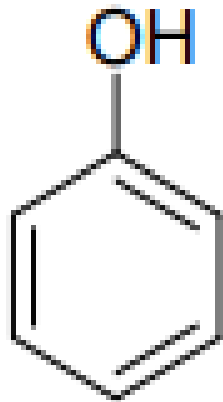


Figura 1. Estructura química del fenol. Imagen tomada de Peñarrieta et al. (2014).

Los flavonoides

El término flavonoides (Figura 2) viene del tatin “flavis” que significa amarillo y son un tipo de polifenoles formados por 2 grupos bencénicos unidos por un puente tricarbonado. Su función en la planta es conferir el color a los frutos y flores (Hidalgo-Murillo, 2004; Peñarrieta *et al.*, 2014). Los flavonoides se dividen en varios subgrupos:

1. Antocianos.
2. Flavonas, flavononas, flavanoles y flavanonoles.
3. Flavanoles, taninos condensados y lignanos.

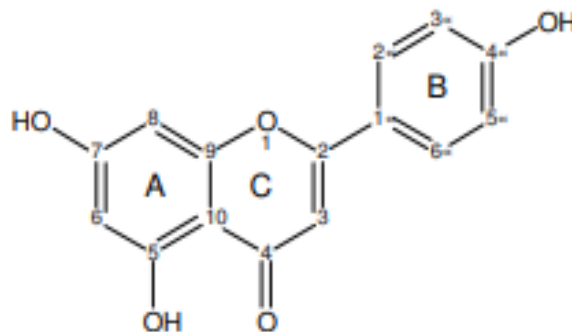


Figura 2. Estructura del *Flavonoide*. Imagen tomada de Peñarrieta et al. (2014).

Las antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos hidrosolubles, encargados de darle el color a diversas frutas, cereales y vegetales y se localizan en las vacuolas de las células. Algunas de las funciones que tiene en las plantas son la atracción de polinizadores, protección contra la radiación ultravioleta entre otros (Astrid-Garzón, 2008).

Estructura y color de las antocianinas

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecientes a la familia de los flavonoides, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 C. En la Figura 3 se muestra la estructura y las seis antocianidinas conocidas por las variaciones estructurales del anillo B (Astrid-Garzón, 2008).

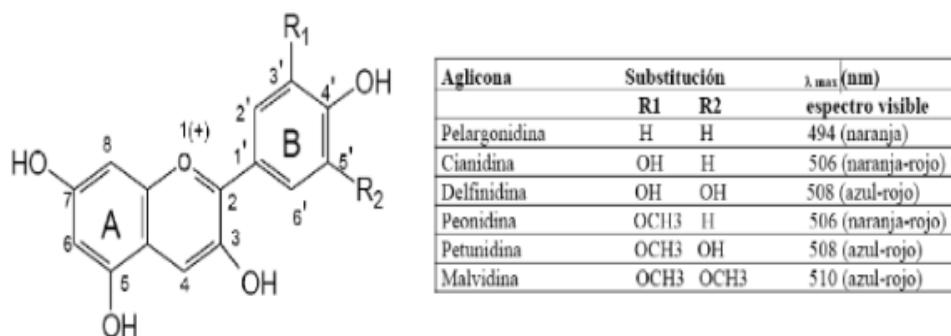


Figura 3. Estructura y tipos de antocianinas (Garzón, 2008).

Otra de las frutillas cuyo cultivo ha cobrado importancia en los últimos años es el arándano, cuyas especies silvestres resultan de interés pues podrían contribuir al mejoramiento de variedades comerciales.

EL ARÁNDANO SILVESTRE

Historia del arándano

El arándano es una baya originaria de América del Norte, donde crece en forma silvestre (Romero, 2016). Los arándanos silvestres han formado parte de la historia de la humanidad, debido a que durante miles de años es parte de la alimentación de las tribus de esa región y hoy en día; sigue siendo fundamental para la alimentación de los humanos. Estas bayas fueron de gran utilidad para las personas de aquella época, pues no solo las utilizaban como base de alimentación sino también como remedios medicinales para curar y prevenir enfermedades, por ejemplo; el jugo de arándano protege el ADB ayudando a prevenir diversas enfermedades como el cáncer y la diabetes. Además, los antioxidantes que contienen ayudan a prevenir problemas cardiovasculares y son beneficiosos para el cerebro (Romero, 2016; García-Rubio *et al.*, 2018).

Principales especies de arándano silvestre en América

Los arándanos pertenecen al género *Vaccinium*, y a la familia de las Ericáceas. Las especies de arándano se encuentran distribuidas en mayor escala en Norteamérica, Europa Central y Eurasia, también se encuentran en menor escala en América del Sur, África y Madagascar (García-Rubio *et al.*, 2018).

El continente americano cuenta con un gran número de especies silvestres del género *Vaccinium*. Estas especies además de tener frutos comestibles se han domesticado y seleccionado variedades para la producción comercial de frutos.

En la Figura 4 se presentan los frutos de las especies más destacadas basadas en García-Rubio *et al.* (2018), los cuales son: 1) *Vaccinium angustifolium* también nombrado como “Lowbush”, este arándano puede soportar temperaturas extremadamente bajas en invierno; 2) *V. macrocarpon*, también conocido como “cranberry” o arándano rojo grande, esta especie produce frutos de color rojo; 3) *Vaccinium ashei*, también llamado “ojo de conejo” o “Rabbiteye” es un arbusto que puede llegar a crecer hasta 5 m de altura, se da en zonas con clima cálido y está adaptado a los suelos arenosos, secos y pobres de materia orgánica, los frutos son azules, de buen tamaño y sabor, debido a la buena calidad del fruto es uno de las

especies domesticadas para cultivo comercial; 4) *V. corymbosum*, también conocido comúnmente como “Highbush” del Norte, el fruto de este arándano es azul, es dulce y el de mayor calidad y tamaño entre las especies del género, por este motivo fue el primero que se domesticó. De igual manera, Romero (2016), menciona que las especies de mayor interés comercial son *V. corymbosum* y *V. ashei*.



Figura 4. Frutos silvestres del género *Vaccinium*. a.) *V. angustifolium*, b.) *V. macrocarpon* c.) *V. ashei*, d.) *V. corymbosum* (García-Rubio et al., 2018; Ted collins, 2019; Ganadería, 2020).

Por otro lado, existen variedades de arándano silvestre con características de apariencia y sabor potencialmente interesantes, sin embargo, no existe mucha información sobre estas. Una de las especies silvestre de arándano reportadas para México es *Vaccinium stenophyllum* Stead., de la cual se hablará a continuación.

***Vaccinium stenophyllum* Stead.**

México es un país considerado megadiverso, debido a su gran diversidad de plantas silvestres (Pío-León *et al.*, 2017), entre ellas se encuentran varias especies de *Vaccinium* nativos de México, como lo es el caso del *V. stenophyllum*.

De acuerdo a Pérez (2013) *V. stenophyllum* es un arbusto (Figura 5) originario del Noreste de América del Norte (Terranova a Maryland, Iowa y Minnesota). Posee flores hermafroditas y la polinización se da por la presencia de insectos. Las hojas de esta especie son caducas. Sus frutos poseen el típico color “blue” oscuro y dulce. En general pueden llegar a medir hasta 50 cm (Gonzáles, 2013) y en el caso de Cotija, Michoacán hasta casi 2 m (observación personal).

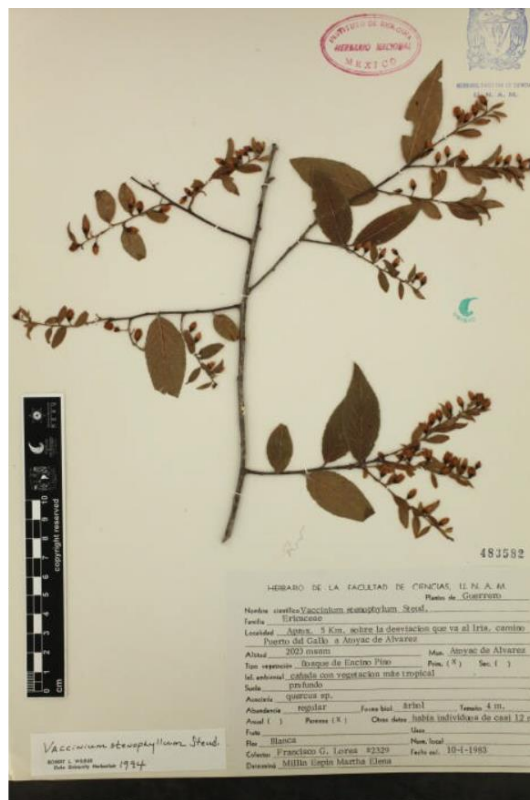


Figura 5. Planta del herbario de *Vaccinium stenophyllum* Stead., en la colección de la UNAM. Tomado de <https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:483582>

Además de la escasa información que existe al respecto de las características y contenido nutrimental de los frutos de las especies de arándano silvestre, también existe escasa información sobre el papel que la biota microbiana asociada a estas plantas pudiera tener sobre su desarrollo, producción y calidad de los frutos, por lo que es deseable generar información sobre los beneficios potenciales que dicha biota pudiera tener sobre estas plantas y otros cultivos relacionados.

Uso de microorganismos en la nutrición

La producción de las frutillas como la fresa y el arándano es susceptible al efecto del impacto económico generado por la mano de obra, manejo de plagas, enfermedades, malezas y la nutrición. En particular en la nutrición de los cultivos se puede erogar un gasto entre el 15 al 20% del costo productivo.

Uno de los macroelementos de las plantas que se relaciona con la nutrición y los microorganismos, es el fósforo (P), y más estrictamente con el fosfato P_2O_5 . Se conoce que el P es necesario en la vida por su participación en los diversos procesos fisiológicos metabólicos y bioquímicos más importantes (Wahid *et al.*, 2020). También, está presente en todas las células de los organismos vivos. El P se le encuentra en los ácidos nucleicos que contienen y codifican la información genética, además, se le encuentra relacionado con la fisiología y metabolismo de las plantas en procesos como transporte de energía y fotosíntesis (InfoAgro, 2020).

Por otra parte, es importante señalar que el P en los suelos es un elemento de baja movilidad y se encuentra poco disponible generando una limitación en los ecosistemas naturales y agrícolas (Wen *et al.*, 2019), lo cual ha hecho muy importante su incorporación en la fertilización de base, ya sea en forma química o en estiércoles. Es importante hacer notar que sólo el 10 o 15% se utiliza por las plantas en el mismo año o ciclo agrícola (Sandoval, 2019).

El empleo de microorganismos promotores del crecimiento vegetal ha tenido gran importancia en estos últimos años debido al establecimiento de relaciones simbióticas con las plantas; además intervienen en el ciclo de algunos elementos minerales y obtienen a cambio los exudados de las raíces en forma de ácidos orgánicos, mucílagos, aminoácidos o azúcares. Los mecanismos de acción más

representativos son la fijación biológica de nitrógeno, la capacidad de solubilizar formas insolubles de fósforo mediante la producción de ácidos orgánicos y la quelación de óxidos de calcio, hierro o aluminio. También, favorecen la producción de fitohormonas y la estimulación de crecimiento indirecto por la síntesis de la enzima ACC desaminasa (Romero y Suárez, 2017; Sandoval, 2019).

Entre los grupos de microorganismos que pueden promover algunos de los beneficios antes mencionados se encuentran los hongos micorrícicos, que promueven la asociación simbiótica con las raíces de las plantas denominada micorriza, que participan en la asimilación de fósforo en las plantas. Se conocen dos formas en las cuáles las plantas adquieren el P: en la vía directa, la planta lo adquiere de la rizosfera mediante transportadores de P inorgánico (Pi) en la epidermis y pelos radiculares cercanos a la superficie de la raíz. Esta vía es normalmente rápida más que el proceso de reemplazo por difusión a partir de los agregados del suelo, y resulta en concentraciones no reducidas de Pi cerca de las raíces (Smith *et al.*, 2011).

En la vía de adquisición de P con micorrizas, el Pi del suelo se transporta a las hifas fúngicas y de ahí se usan transportadores Pi los cuales translocan el fósforo a estructuras intracelulares fúngicas llamadas arbusculos y enrollamientos hifales “coils” (en las orquídeas), ubicadas en células corticales de la raíz los cuales liberan el P en las células de las plantas colonizadas (Smith *et al.*, 2011).

Es importante señalar, que tanto las plantas de fresa como los arándanos silvestres, son capaces de establecer relaciones simbióticas con distintos microorganismos existentes en el suelo. Dentro de los grupos presentes capaces de establecer simbiosis mutualistas con las raíces de una gran variedad de plantas, se encuentran los hongos micorrícicos, los cuales forman la asociación conocida como micorrizas, de la cual se hablará a continuación.

Las micorrizas

Una de las principales adaptaciones evolutivas más importantes en la vida terrestre es la habilidad de los hongos para formar micorrizas con las plantas. Se conoce que

los hongos micorrícicos pueden colonizar benéficamente cerca del 85% de las plantas terrestres (Wang y Qiu, 2006; Strullu-Derrien *et al.*, 2018).

Se infiere que la colonización de las plantas terrestres estuvo relacionada con el establecimiento de asociaciones simbióticas hace aproximadamente 400 a 460 millones de años, en el período Devónico y Ordovícico (Redecker *et al.*, 2002; Alarcón, 2007; Aroca *et al.*, 2009). *Sellaginella moellendorffii* conocida como la planta de la resurrección es una licofita ancestral que pudo haber establecido relación simbiótica con micorrizas arbusculares (Bravo *et al.*, 2016). Sin embargo, Honrubia (2009), menciona que la primera evidencia con estructuras micorrícicas como arbusculos y ramificaciones de hifas, fueron encontradas en las células parenquimáticas de rizomas de *Aglaeophyton (Rhynia)* en el devónico temprano.

¿Qué son las micorrizas?

Las micorrizas son asociaciones mutualistas evolucionadas entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas, en las que se establece una relación de beneficio entre su hospedera (la raíz de la planta) y el hongo, lo que da como resultado estructuras que permiten el mutuo intercambio de agua y nutrientes minerales para la planta hospedera y por su parte, la planta le proporciona al hongo carbohidratos (azúcares, producto de su fotosíntesis) y un microhábitat para que éste pueda completar su ciclo de vida mediante la interacción de ciertas partes especializadas entre esos individuos (Andrade-Torres, 2010; Estevão *et al.*, 2018). Este Carbono (C) es enviado por las raíces a los hongos micorrícicos al transferir la hexosa que las plantas producen a través del proceso de la fotosíntesis, se sabe que le transfieren aproximadamente del 5 al 10% de C fijado fotosintéticamente o también en forma de lípidos (Lin *et al.*, 2020). Estudios recientes demuestran que las plantas no solo le proporcionan carbohidratos al hongo si no también ácidos grasos, ya que estos hongos no cuentan con genes importantes para su producción; los ácidos grasos son indispensables para la formación de moléculas de grasa grandes, que almacenan energía y contribuyen a la formación de membranas para cada una de sus células (Keymer *et al.*, 2017).

El término micorriza (es decir, hongo de raíz) fue propuesto por Frank en 1885 (citado por Andrade-Torres 2010), quien señaló que esta asociación era benéfica para ambos simbioses.

De acuerdo con Alarcón (2007), la micorriza también se puede entender como “una estructura especializada con diversas funciones, la cual se origina al asociarse, en forma mutualista con diversos grupos de hongos específicos con el sistema radical de las plantas”.

Beneficios de las micorrizas

La relación micorrícica es una asociación que se considera de tipo mutualista ya que ambos participantes resultan beneficiados. Los hongos micorrícicos o micorrizógenos aumentan la capacidad de las plantas para capturar nutrientes del suelo. Entre los nutrientes que el hongo ayuda a absorber a la planta destacan principalmente: el fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K), calcio (Ca), Zinc (Zn) y magnesio (Mg), esto es gracias a la colonización de las raíces por el hongo y al cambio de estructura de éstas, permitiendo una mayor ramificación, favoreciendo mayor contacto con el suelo; además, promueven la mayor longevidad, resistencia a patógenos, a elementos tóxicos del suelo, y condiciones extremas de temperatura, acidez y humedad (Estevão *et al.*, 2018; Camargo-Ricalde *et al.*, 2012; Noda, 2009). De igual manera, Blanco y Salas (1997), mencionan otros beneficios que el hongo le aporta a la planta como la estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmóticos cuando hay sequías, tolerancia a estrés ambiental y el aumento de fijación de N por bacterias simbióticas. Lutzoni *et al.* (2018), mencionan que la simbiosis micorrícica además de los efectos mencionados, también ayuda a resistir la herbivoría.

Los HM tienen la capacidad de interactuar con otros microorganismos de la rizosfera, gracias al micelio extraradical que además de ser el vínculo entre el suelo y la planta, proporciona nichos ricos en nutrientes que favorecen la colonización y la asociación con otros microorganismos (Svenningsen *et al.*, 2018). Los exudados de las hifas fúngicas atraen a estos microorganismos con el fin de hacer simbiosis con la planta y recibir beneficios, de tal modo que se han identificado mayor número

de poblaciones microbianas, entre ellas las bacterias diazotróficas, simbióticas y solubilizadoras de fosfatos; estas bacterias ayudan a la planta con nutrición y protección contra patógenos radicales (Romagnoli *et al.*, 2017). Se considera que la actividad de los microorganismos rizosféricos son un factor importante para el buen funcionamiento de los ecosistemas terrestres, además de que participan en la fertilización de los suelos agrícolas (Pérez *et al.*, 2016).

Sin duda alguna, la inoculación de micorrizas a los cultivos podría conferirles enormes beneficios. Viera *et al.* (2017), mencionan que los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) al ser inoculados en la etapa a nivel vivero de las plántulas, les ayuda a tener una mayor supervivencia, mayor crecimiento vegetal en menor tiempo, y a disminuir el tiempo en el estadio de vivero, además de tener mayor productividad y calidad del fruto.

El nitrógeno (N) es fundamental para el desarrollo de las plantas, las micorrizas son capaces de adquirir el N inorgánico como NH_4^+ y NO_3^- que son las formas más comunes y disponibles en la rizósfera, sin embargo, la fertilización alta en N interfiere con el potencial de inóculo micorrícico de los suelos agrícolas, favorece los daños causados por patógenos, además, induce el flujo de gases de efecto invernadero. Debido a estos problemas una técnica viable es la utilización de nitrógeno orgánico con la combinación de simbiosis micorrícicas, esta combinación podría eliminar algunos de estos problemas y aumentar la fertilización de N en las plantas (Thirkell *et al.*, 2016). Otro de los beneficios de las micorrizas es la mejora de propiedades físicas y químicas de los suelos, lo cual se logra por el incremento de materia orgánica y formación de agregados del suelo mediante la adhesión de partículas con el uso de la glomalina, este compuesto es exudado por el micelio. En los suelos, la glomalina que secretan los hongos micorrícicos contribuyen a la estructura y estabilidad de los ecosistemas. En consecuencia, se reduce la erosión y se mejora la capacidad de retención de agua (Guadarrama-Chávez *et al.*, 2004). Los microorganismos benéficos de la rizosfera como los HMA tienen un papel fundamental en el desarrollo de los cultivos, pues además de ayudar con el estado nutricional de las plantas pueden mejorar la calidad de los cultivos. Adicionalmente,

se conoce que la simbiosis micorrícica proporciona una mayor acumulación de antocianinas, fenoles solubles totales, carotenoides y otros nutrientes (Begum *et al.*, 2019).

Sin la colaboración de los HMA con las plantas, su crecimiento sería menos vigoroso, los ataques de patógenos, las sequías y los metales tóxicos que hay en el suelo perjudicarían más a las plantas, habría menos diversidad de flora, menos bosques y hierbas en los ecosistemas naturales y en la agricultura (Piepenbring *et al.*, 2016).

Clasificación taxonómica de los hongos formadores de micorrizas

Una forma de clasificar las micorrizas es tomando en cuenta el tipo de hongo involucrado y la integración morfológica existente entre los hongos y las raíces de las plantas hospedantes; debido a estas características se clasificaron como: a) micorrizas con manto fúngico, estas a su vez fueron clasificadas como ectomicorrizas, micorriza arbutoide y micorriza monotrofoide; por otro lado están las b) micorrizas sin manto fúngico que fueron clasificadas como micorriza arbuscular, micorriza ericoide y micorriza orquideoide (Camargo-Ricalde *et al.*, 2012).

Andrade Torres (2010), clasificó las micorrizas basándose en la clasificación propuesta por Smith y Read en 1997. Esta clasificación se realizó tomando en cuenta las características estructurales, el tipo de hongo, las plantas involucradas y las formaciones estructurales que estos individuos realizan, dichas clasificaciones son:

Ectendomicorrizas. Estas micorrizas presentan características de las ectomicorrizas y de las endomicorrizas, los hongos participantes son principalmente de los grupos de Basidiomycotina y Ascomycotina, y se asocian con plantas coníferas del género *Pinus* y algunas plantas angiospermas (Andrade-Torres, 2010).

Ericoide. Se caracteriza por su asociación con varias familias del orden Ericales (excepto los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos*) y los hongos del grupo de las

Ascomicota Estas micorrizas forman raíces laterales muy delgadas que carecen de crecimiento secundario en las plantas colonizadas (Andrade-Torres, 2010; Camarena-Gutiérrez, 2012).

Arbutoide. Este tipo de micorriza se asocia con dos géneros de la familia Ericaceae (*Arbutus* y *Arctostaphylos*) y varios géneros de *Pyrolaceae*, forman red de hartig y complejos hifales intracelulares, los hongos involucrados son del grupo de las Basidiomycotina. (Camarena-Gutiérrez, 2012).

Monotropoide. Estas micorrizas se caracterizan por ser simbioses exclusivas de las plantas de la familia *Monotropaceae*, la cual tiene 10 géneros de plantas aclorofiladas, es decir, no son fotosintéticas, por lo cual dependen completamente de esta asociación. Los hongos participantes pertenecen al grupo de los Basidiomycotina (Andrade-Torres, 2010).

Orquideoide. Son exclusivas de las plantas de la familia *Orchidaceae* y los hongos que participan son del grupo de las Basidiomycotina, estas plantas son aclorófilas y saprofitas por lo que dependen directamente del hongo (Andrade-Torres, 2010; Camarena-Gutiérrez, 2012).

Ectomicorrizas. Las ectomicorrizas pueden colonizar aproximadamente el 3% de las especies de plantas vasculares del planeta, entre las familias de plantas se encuentran: todas las *Pinaceae*, *Fagaceae* y *Betulaceae*, así como algunas especies de *Salicaceae*, *Tiliaceae*, *Rosaceae*, *Leguminosae* y *Juglandaceae*. Los hongos involucrados en esta asociación pertenecen al grupo Basidiomycotina. Estas micorrizas forman estructuras que recubren por fuera la raíz conocida como red de Hartig y manto (Andrade-Torres, 2010).

Arbuscular. También llamada micorriza vesículo-arbuscular, estas micorrizas se consideran biótrofos obligados, debido a que las plantas que la forman no dependen del hongo para sobrevivir, además de formar estructuras especializadas llamadas arbusculos (que participan en el intercambio de nutrientes) y en algunos casos forman estructuras llamadas vesículas. Los hongos que participan están

restringidos al phylum Glomeromycotina, y son simbioses para el 80% de las plantas vasculares (traqueófitos) (Andrade-Torres, 2010; Lutzoni *et al.*, 2018).

Micorriza arbuscular

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se encuentran en la mayoría de los suelos y tiene la capacidad de formar relaciones simbióticas con la mayoría de las plantas, son biótrofos obligados, es decir, que necesitan de la planta huésped para poder completar su ciclo de vida y lo hacen gracias a los productos fotosintéticos y lípidos que las plantas les proporcionan (Begun *et al.*, 2019).

Las micorrizas arbusculares son consideradas las más extendidas y antiguas de todas, se cree que más del 95% de las especies de plantas superiores, establecen este tipo de asociación, aunque se ha demostrado que los HMA también establecen relación simbiótica con pteridofitas (como los helechos) y briofitas (plantas no vasculares). Los hongos que participan en esta asociación son los zigomicetos referente a los hongos con esporas de pared gruesa. Estos hongos colonizan intercelularmente las células de la corteza de la raíz del hospedero formando estructuras especializadas como los arbusculos que actúan como órganos de intercambio de sustancias y nutrientes, también algunos géneros de estos hongos forman las vesículas que se caracterizan por su estructura globosas, su función es almacenar lípidos y nutrimentos para el hongo y están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz (García *et al.*, 2016; Aguilera Gómez *et al.*, 2017). La mayoría de las plantas terrestres forman relaciones simbióticas con los hongos micorrícicos arbusculares, esta asociación mutualista resulta de gran beneficio tanto para la planta como para los HMA colonizadores (Zhao *et al.*, 2017).

Reconocimiento simbiótico entre las plantas y los hongos micorrícicos arbusculares

Fase asimbiótica

En esta fase se envían señales bioquímicas que forman parte de los exudados de la raíz. Las plantas son las encargadas de mandar la primera señal para el inicio simbiótico a las esporas de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) por medio de los exudados, dichos exudados tienen compuestos y hormonas que ayudan a la

germinación de las esporas, el crecimiento y la ramificación de la hifa germinativa, también ayudan para que el hongo pueda localizar las raíces. Una molécula señalizadora es el dióxido de carbono (CO₂) que es de gran importancia para la germinación de esporas y el crecimiento de la hifa germinativa (Ramírez-Gómez y Rodríguez-Villate, 2010), tales estímulos originan la morfogénesis diferencial provocando una ramificación profusa de hifas al igual que su proliferación, por lo tanto, si dichas señales no son enviadas no hay morfogénesis ni la formación del apresorio, el cual permite la penetración de las hifas a las células corticales de la raíz; se cree que el flavonide quercetina, las flavonas y los isofavonoides participan en las primeras fases de la simbiosis arbuscular (Barrer, 2009; Camarena-Gutiérrez, 2012). El crecimiento del hongo es de manera asimbiótica (Barrer, 2009), muchas especies de esporas de hongos micorrícicos no necesitan de las plantas para poder germinar y tener crecimiento hifal, sin embargo, cuando una espора germina y ramifica en busca de raíces y no tiene éxito, su periodo de crecimiento se limita de 20 a 30 días (Camarena-Gutiérrez, 2012).

Estas moléculas de señalización derivadas de los socios simbióticos (planta-hongo) requiere una gran coordinación genética y metabólicamente (Chen *et al.*, 2018). El intercambio de señales químicas entre el hongo y la planta es muy importante para la fijación y el mantenimiento de la simbiosis micorrícica. Sawers *et al.* (2018), mencionan algunas moléculas de señalización las cuales son los butenólidos, estrigolactona, quitináceas, *N*-acetilglucosamina (GlcNAc) así como las fitohormonas auxina y giberelina.

Las estrigolactonas juegan un papel muy importante en esta simbiosis, son exudados de las raíces y son llamadas “factor de ramificación”, fueron identificadas en *Lotus japonicus*, su importancia radica en ser una señal fundamental para el desarrollo de la simbiosis, participan en los cambios morfológicos en las raíces, alterando así los tubos germinativos en el micelio presimbiótico (Ramírez-Gómez y Rodríguez-Villate, 2010; Camarena-Gutiérrez, 2012). La señal de estrigolactona estimula la actividad de los hongos HMA y, por ende, los hongos HMA secretan lipoquitos-oligosacáridos, los cuales son detectados por las plantas activando así una

vía de transducción de señales conocida como señalización de simbiosis común (CSSP) (Chen *et al.*, 2018).

Fase simbiótica

En esta fase también se requieren las señales de reconocimiento, además de la expresión de los genes Endo en el hospedante, los cuales son producidos por los hongos micorrícicos arbusculares. Dichas señales abrirán paso para que la planta pueda localizar las células donde el hongo formará el apresorio para después con la ayuda del factor Myc formar el aparato de prepenetración, éste a su vez servirá como canal para que las hifas fúngicas puedan entrar a las células. Una vez introducido el hongo en la célula se expresarán los genes Endo en las células epidermales hasta llegar a las células corticales donde posteriormente se realizará la formación de las estructuras características especializadas como los arbusculos, la membrana peri-arbuscular, la formación de vacuolas además de los cambios necesarios en la célula para el establecimiento del arbusculo como la migración del núcleo, la reorganización del citoesqueleto y la expresión de genes relacionados con el transporte del fósforo inorgánico (Pi) (Ramírez-Gómez y Rodríguez-Villate, 2010).

Existen trabajos donde se reporta la importancia que diversos microorganismos tienen sobre aspectos de calidad de los frutos. En este sentido, el estudio realizado por Espinosa- Palomeque *et al.* (2017), tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Afroditá), y encontraron incremento en el rendimiento y calidad nutraceútica en los frutos de las plantas de tomate que fueron inoculadas con las (RPCV) en especial con especies de la bacteria antagónica del género *Bacillus* spp., la cual mostró efectos positivos sobre el diámetro polar y ecuatorial, contenido de sólidos solubles, fenoles totales y capacidad antioxidante en frutos.

Dado lo anterior, a continuación se mencionan algunos trabajos en los cuales se evidencia el efecto de los HMA sobre el desarrollo y características de frutos de distintas plantas.

En el trabajo realizado por Palencia *et al.* (2009), evaluaron el efecto de la inoculación del hongo micorrícico *Glomus intraradices* en la calidad de los frutos de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Dutch.) y pudieron observar que las plantas que fueron inoculadas con el HMA tuvieron frutos con mayor peso y mayor cantidad de °Brix.

Otro estudio donde se encontró beneficio sobre la inoculación de HMA fue el realizado por Díaz-Hernández *et al.* (2013) ellos efectuaron un trabajo donde inocularon el HM *Glomus intraradices* en *Jatropha curcas* L. Ellos pudieron observar que la inoculación de *G. intraradices* promovió mayor cantidad de frutos, mayor peso en las semillas y un mejor desarrollo en el tallo de las plantas.

Por otro lado, Chenchouni *et al.*, (2020), realizaron un estudio donde inocularon en plantas de olivo (*Olea europaea* L.), HMA nativos aislados de un suelo árido cálido en Argelia y HMA de un producto comercial, con el fin de estimar y comparar parámetros de colonización endomicorrízica y también características de crecimiento de plántulas para diferentes inoculaciones. Encontraron un efecto de incremento significativo en la altura, peso fresco y seco de brotes y raíces, así como mayor número de hojas y nódulos en las plantas que fueron inoculadas con los HMA en comparación con el control, sin embargo, las plantas inoculadas con HMA nativos mostraron mejores resultados para la colonización y parámetros de crecimiento en las plantas.

Diversos estudios en maíz y jitomate reportan mayor efecto benéfico de micorrizas de los géneros *Acaulospora* y *Rhizophagus* cuando se utilizan distintos niveles de fertilización fosfórica (Carrillo *et al.*, 2014 y Cobrales *et al.*, 2016). En maíz los mayores rendimientos se obtuvieron con 54 y 80 kg/ha de fósforo. Otros autores, en fresa comprobaron que parámetros relacionados con la calidad como el peso de fruto se incrementa cuando se inocula *Glomus intraradices* (Palencia *et al.*, 2013).

En torno a calidad, se ha reportado su mejoría cuando se utilizaron hongos micorrícicos demostrando que diversos componentes como pH, sólidos solubles totales, °Brix, proporción de sólidos solubles/acidez titulable así como compuestos

fenólicos pueden mejorarse con la inoculación de micorrizas en plantas de fresa (Soria, 2012; Cordeiro *et al.*, 2019).

III. JUSTIFICACIÓN

La humanidad se ha enfrentado con diversos problemas que la agricultura convencional ha ocasionado en la salud humana y el medio ambiente. La revolución verde, con el uso intensivo de fertilizantes químicos ha dejado muchos problemas para la humanidad y medio ambiente como el obtener alimentos con residuos químicos, intoxicaciones, resistencia a plagas y patógenos y contaminación evidente de lagos y océanos en todo el mundo.

Por estos motivos es importante la implementación de estrategias sustentables que apoyen a la productividad agrícola tendiente a obtener mejor producción, sustentable y redituable. Existen especies microbianas nativas simbióticas como hongos micorrícicos que podrían conferir efectos benéficos en especies relacionadas como la fresa o el grupo de berries en general.

En este trabajo se plantea aislar hongos micorrícicos nativos pertenecientes a plantas de arándano silvestre (*Vaccinium stenophyllum* Stead.) sin algún tipo de manejo agronómico que promuevan el desarrollo del cultivo y su inoculación a plantas de fresa comercial, con el fin de ayudar a la nutrición del cultivo de fresa en la disminución del uso de fertilizantes fosforados de síntesis química, debido a que, como ya se mencionó anteriormente, éstos hongos ayudan a las plantas a adquirir el fósforo necesario para llevar la fotosíntesis, sintetizar las proteínas que necesita desarrollar el metabolismo energético e indirectamente a mejorar la resistencia a plagas.

Los beneficiarios finales de la presente investigación de manera directa podrían ser los productores de fresa e indirectamente los consumidores finales, ya que los productores de la fresa podrían utilizar menos fertilizantes químicos. Capos *et al.* (2018), mencionan que las micorrizas pueden aportar hasta el 40% del requerimiento de fósforo a las plantas y mejorar la calidad de los productos, para obtener frutos más sanos e inocuos.

IV Objetivo general

- Evaluar el efecto de los hongos micorrícicos nativos de arándano silvestre (*Vaccinium stenophyllum* Steud.) y comercial sobre la asociación, desarrollo y calidad de fresa comercial bajo diferentes niveles de fósforo en condiciones de invernadero.

Objetivos particulares

- Aislar hongos micorrícicos de arándano silvestre en la región de Los Gallineros Cotija en el estado de Michoacán.
- Comprobar la relación simbiótica entre los diferentes consorcios micorrícicos y las plantas de fresa.
- Evaluar el efecto de los consorcios micorrícicos sobre la tolerancia a enfermedades de la fresa.
- Evaluar el efecto del consorcio de hongos nativos y comerciales sobre variables agronómicas de la fresa.
- Determinar el efecto de los hongos micorrícicos sobre el rendimiento y calidad del fruto de fresa.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

El consorcio de hongos micorrícicos silvestres (HMS) fue colectado en la región de “Los Gallineros” perteneciente a Cotija del estado de Michoacán, en las coordenadas 19°40'16.0"N 102°41'47.5"W a 1969 msnm. El arándano silvestre que habita en esta región es el *Vaccinium stenophyllum*, el cual fue identificado por el M. en C. Ignacio García Ruiz del CIIDIR IPN Michoacán.

El consorcio micorrícico comercial (HMC) utilizado fue de un producto orgánico comercial (Gaia) el cual contenía dos especies del género *Glomus* (*G. intraradices* y *G. fasciculatum*).

Aislamiento de hongos micorrícicos a partir de suelo de arándano silvestre

La colecta de suelo para el aislamiento de los HMS consistió en tomar una muestra compuesta del suelo rizosférico de los primeros 30 cm de profundidad de 20 plantas del arándano silvestre seleccionadas por cuadrantes. Posteriormente, este suelo se colocó en bolsas de plástico previamente etiquetadas y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su procesamiento.

Aislamiento y cuantificación de las esporas presentes en los inóculos utilizados

Para el aislamiento de las esporas de HMS del suelo rizosférico de *V. stenophyllum* y el producto orgánico comercial se utilizó la técnica de tamizado en húmedo y decantación reportada Gederman y Nicholson (1963) con algunas modificaciones, que consistió en la obtención de 50 g de los diferentes inóculos mismos que fueron puestos en vasos de precipitado, después se les agregó agua de llave y se batieron hasta disolverse los más posible. Posteriormente, la mezcla fue pasada por tamices de 710 y 45 µm, tomándose el contenido del último tamiz (45 µm) el cual fue puesto en tubos para centrífuga de 50 ml, después se les inyectó con una jeringa una solución de sacarosa al 60 % en el interior de la pasta obtenida, se centrifugó a 3000

rpm por 2 minutos, seguidamente se puso el sobrenadante en el tamiz de 45 μm de diámetro y se lavó con agua bidestilada el exceso de sacarasa, el contenido de tamiz fue colocado en tubos Falcon de 50 ml y se les adicionó de 10 a 20 ml de solución Ringer, para finalmente contar y calcular el número de esporas presentes en los diferentes inóculos. La medición fue realizada por triplicado.

Experimentos en el invernadero

Se realizaron dos experimentos en el invernadero del CIIDIR unidad Michoacán, el cual está ubicado en Jiquilpan, Michoacán, México. Se encuentra a una altitud de 1560 msnm, coordenadas: 20°03'02" y 19°52'54" de latitud N, los meridianos correspondientes son: 102°39'33" y 102°56'16" de longitud O.

Evaluación preliminar de la asociación de los HM con plantas de fresa var. "Frontera"

En esta evaluación se utilizaron plántulas de fresa comercial pertenecientes a la variedad Frontera con una edad de 22 días, estas plántulas fueron inoculadas con 50 g de sustrato micorrícico y trasplantadas a macetas que contenían 4 kg de suelo estéril arcilla:vermiculita (3:1).

Se evaluaron tres diferentes tratamientos, el tratamiento 1 consistió en la inoculación de plantas de fresa con el consorcio de HMS, el tratamiento 2 fue inoculado con el consorcio de HMC, por último, el tratamiento 3 el cual fue el control sin inóculo micorrícico. Se realizaron 15 repeticiones de cada tratamiento, una por maceta.

Las plantas de fresa fueron regadas cada tercer día y tuvieron una fertilización de manera convencional con aplicación de una solución 8:24:00 en dosis de 500 ml 200 Lt^{-1} de agua las primeras 3 semanas y posteriormente se aplicó triple 16 en dosis de 5 g Lt^{-1} . Dado que se presentó araña roja se aplicó abamectina en dosis de 1.25 ml Lt^{-1} y se hicieron 3 aplicaciones. Finalmente, cabe señalar que se presentó un hongo fitopatógeno en el suelo, el cual causó daños a las plantas en distinto grado dependiendo del tratamiento aplicado.

Variables agronómicas a evaluar en plantas de fresa cv. Frontera

Cuantificación de la biomasa vegetal (g) de las plantas de fresa

Para medir la biomasa foliar y radicular de las plantas de fresa, inicialmente se retiró la planta de la maceta y se separó la parte aérea de la raíz. Luego, las raíces se lavaron para eliminar el sustrato, se escurrieron y secaron con toallas de papel y se pesaron en una balanza granataria digital para determinar la biomasa fresca. Posteriormente, ambos tejidos se colocaron en bolsas de papel y se secaron en horno a 75 °C durante 3 días, al cabo de los cuales se pesaron nuevamente para determinar biomasa seca.

Identificación del patógeno

Debido a que el hongo fitopatógeno generó una alta incidencia de muerte en las plantas del experimento, se procedió a realizar el aislamiento para su identificación. Se colocó 1 g de suelo de cada tratamiento en tubos Corning de 15 mL con 10 mL de agua bidestilada estéril, después las muestras se agitaron en vortex durante 2 min, se colocó y dispersaron 100 uL de suspensión de suelo en cajas de Petri (90 x 15 mm) con medio PDA (MCD Lab, 39 g Lt⁻¹). Se realizaron tres repeticiones por cada muestra. Luego, las cajas se incubaron a 28 °C en oscuridad hasta observarse crecimiento microbiológico. Las observaciones visuales se realizaron diariamente.

Aislamiento de hongos a partir de raíz y corona de plantas de fresa var. "Frontera"

Se utilizaron tres plantas por tratamiento, las cuales mostraron síntomas de marchitez en invernadero.

Las plantas de fresa se lavaron en agua corriente de la llave hasta eliminar el sustrato y se colocaron en sanitas para su secado. Posteriormente, se separó la parte radicular incluyendo la corona del resto de la planta. La parte aérea se eliminó del aislamiento por presentar un estado de descomposición derivado de la marchitez. Luego, se obtuvieron 15 secciones de corona y raíz de las tres plantas con síntomas de marchitez y se colocaron en cajas de Petri estériles. Posteriormente, se desinfectaron las muestras en una solución de hipoclorito de

sodio 1 % y etanol 96 % (1:1 v/v) durante 2 min, se lavaron en dos ocasiones con agua bidestilada estéril y se secaron en toallas de papel estériles.

Se colocaron 5 secciones de tejido desinfectado en 3 cajas de Petri con medio PDA y se incubaron a 28 °C en oscuridad hasta observar crecimiento microbiológico.

Ya obtenido crecimiento del posible agente causal se purificaron las cepas por la técnica de punta de hifa y se colocaron en cajas de Petri con medio PDA para confirmar pureza e inducir esporulación a 28 °C en oscuridad.

Una vez purificadas y esporuladas las colonias, se registró color de las colonias, presencia, color y forma de conidios, pigmentación y septación de hifas, presencia de estructuras fúngicas adicionales y se corrió la clave dicotómica de Barnett y Hunter (1998) para la identificación a nivel de género.

Todas las características macro y microscópicas de las cepas se capturaron digitalmente.

Determinación del Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de fresa var. “Frontera”

Se contabilizó el número total de plantas viables de cada tratamiento, para hacer la conversión a porcentaje de sobrevivencia.

Para poder determinar el efecto de los consorcios de HM sobre la producción y calidad de frutos de fresa se procedió a realizar un segundo experimento, en el que, debido a dificultades en la región para conseguir la variedad frontera se optó por realizarlo con variedad Festival.

Evaluación de la asociación de los HM con plantas de fresa var. “Festival”

En esta evaluación se utilizaron plántulas de fresa comercial variedad “Festival” de 22 días de edad. Las plántulas se inocularon con 10 g de sustrato de los diferentes inóculos micorrícicos y se trasplantaron a macetas que contenían 4 kg de una mezcla de suelo arcilloso de la región:vermiculita:arena en proporciones respectivas, 3:2:2. Con total de nueve tratamientos con 10 repeticiones cada uno.

En el Cuadro 2, se presentan los nueve tratamientos que fueron implementados en este experimento. En resumen, se evaluaron tres tratamientos en plantas de fresa inoculadas con el consorcio de HMS (hongo micorrízico silvestre), tres más con el consorcio de HMC (hongo micorrízico comercial) y tres tratamientos sin inocular micorrízico. Se manejaron 3 niveles de fósforo (P) en la fertilización que fueron 0, 30 y 60 ppm.

Todos los tratamientos se regaron manualmente cada tercer día y se fertilizaron dos veces por semana con la solución nutritiva Long Ashton ajustada con los niveles de fósforo correspondiente.

Cuadro 2. Tratamientos con hongos micorrízicos y niveles de fósforo aplicados a plantas de fresa var. "Festival".

Numero de tratamiento	Partes por millón (ppm) de fósforo
1- HMS	0
2- HMS	30
3- HMS	60
4- HMC	0
5- HMC	30
6- HMC	60
7- CTL	0
8- CTL	30
9 -CTL	60

HMS= consorcio micorrízico silvestre, HMC= consorcio micorrízico comercial, CTL= Control negativo sin inóculo micorrízico.

Control de plagas

Se realizó control de plagas con la aplicación a la dosis comercial del producto a base de Abamectina a la dosis recomendada de 1.25 mL Lt⁻¹ según se presentó la incidencia de insectos.

Variables agronómicas a evaluar en plantas de fresa var. "Festival"

Altura de la planta

La altura de las plantas (cm) de los diferentes tratamientos se registró a los 60 días después de la plantación (ddp) con ayuda de una regla, en cada planta de los nueve tratamientos.

Determinación del contenido de clorofila

La medición de clorofila se realizó con ayuda de un equipo medidor de clorofila SPAD 502 Data Logger 2900PDL marca Fieldscout. La medición se realizó por triplicado tomando el promedio de lectura de tres hojas al azar de cada planta de todos los tratamientos.

Cuantificación de la biomasa vegetal (g) de las plantas de fresa

Para medir la biomasa foliar y radicular de las plantas de fresa, inicialmente se retiró la planta de la maceta y se separó la parte aérea de la raíz. Luego, las raíces se lavaron para eliminar el sustrato, se escurrieron y secaron con toallas de papel y se pesaron en una balanza granataria digital para determinar la biomasa fresca. Posteriormente, ambos tejidos se colocaron en bolsas de papel y se secaron en horno a 75 °C durante 3 días, al cabo de los cuales se pesaron nuevamente para determinar biomasa seca.

Variables de producción

Se colectaron frutos de fresa durante 3 semanas, en plantas de 2 meses después de la siembra. Los frutos se colectaron en el estadio 5 de maduración (Figura 6) de acuerdo con la norma mexicana NMX-FF-062-2002. Los frutos se pesaron, se midió el diámetro polar y ecuatorial con ayuda de un vernier manual y se cuantificó el peso de cada fruto y el número de frutos por planta por cada tratamiento.



Figura 6. Escala de maduración con base en el color.

Rendimiento

El rendimiento de frutos se obtuvo al multiplicar el número total de los frutos por peso de los frutos en cada tratamiento por el número de plantas existentes en una hectárea.

Calidad interna

Análisis fisicoquímicos (°Brix, pH, porcentaje de acidez titulable y firmeza)

Para la determinación del pH, el porcentaje de acidez titulable (AT) y los grados Brix (°Brix) se aplicó el método establecido por la AOAC en 2010.

El pH se determinó usando el jugo de 5 frutos y con la ayuda de un potenciómetro (HANNA® Instruments, HI2211, China).

En cuanto la determinación del porcentaje de AT se tomó una muestra de 5 g de tejido homogéneo al que se agregaron 50 mL de agua destilada. Para la titulación, la muestra se colocó en un matraz Erlenmeyer y en una bureta se le agregó NaOH al 0.1 N, así como fenolftaleína al 0.1 % como indicador. Luego, se agregaron dos gotas de fenolftaleína y el NaOH gota por gota hasta que la muestra se tornó de coloración rosada.

Para la determinación de °Brix se maceró con un mortero, 5 g de fruto y se filtró el jugo mediante una malla con el que se determinó el índice de refracción mediante un refractómetro ATAGO® ATC-1e, Japón.

La firmeza se calculó en kilogramos fuerza (Kgf) con la ayuda de un penetrómetro FRUIT PRESURE TESTER, modelo FT011(0-11lbs). Se utilizaron tres frutos por tratamiento y se determinó en el área ecuatorial de los frutos.

Análisis de compuestos nutraceuticos

Contenido de fenoles totales

Se utilizó la técnica colorimétrica de Folin-Ciocalteu (modificado de Amatori *et al.*, 2016 y Delgado-Vargas *et al.*, 2018) la cual consistió en agregar 100 μ L de muestra (extractos de frutos con soluciones de ácido gálico Sigma-Aldrich® como estándar (0.1 a 1 mg/mL), luego se le añadieron 500 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu HYCEL® previamente diluido en agua (1:10), después se agregaron 400 μ L de carbonato de sodio (Na_2CO_3) 0.7 M J.T. Baker®. La mezcla se agitó en vórtex DAIGGER®-Genie 2 y se mantuvo a temperatura ambiente en oscuridad por 2 h. Transcurrido este tiempo, las muestras se analizaron por espectrofotometría a $\lambda=765$ nm contra el solvente de extracción como blanco. Las muestras se analizaron independientemente por triplicado y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso seco.

Contenido de flavonoides totales

La cuantificación se realizó con el método colorimétrico reportado por Zhao *et al.* (2018) con algunas modificaciones. Brevemente, la determinación de flavonoides totales de extractos de fresa consistió en mezclar 150 μ L de muestra (extractos de fresa concentrados, soluciones de rutina como estándar) con 450 μ L de agua destilada y 100 μ L de solución de NaNO_2 al 5%, después se incubó a temperatura ambiente por 6 min y se le agregaron 100 μ L de $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ al 10% y las muestras se incubaron de nuevo por 6 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se le agregó 1 mL de solución de NaOH al 4% y las muestras se aforaron a 2.5 mL con etanol al 60%. Finalmente, la muestra se hizo reaccionar por 15 min y se midió la absorbancia con espectrofotómetro a $\lambda=510$ nm teniendo el solvente de extracción como blanco. Las muestras se analizaron independientemente por triplicado y los resultados se expresaron como mg equivalentes de rutina por gramo de peso fresco.

Contenido de antocianinas totales

La extracción de compuestos antociánicos totales de fresa se realizó con la técnica descrita por Abdel-Aal y Hucl (1999) con algunas modificaciones. Para este fin, se maceró 10 g de muestra seca liofilizada con ayuda de mortero y pistilo y se le adicionaron 25 mL de etanol acidificado (etanol y HCl 1N; 85:15 v/v). Posteriormente, los extractos se agitaron vigorosamente en Vórtex y se ajustó el pH a 1 con HCl. Después, los extractos se agitaron (agitador orbital LSE®) a 250 rpm durante 16 h, a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, los extractos se centrifugaron a 6,000 rpm por 15 min y se recuperó el sobrenadante, mismo que se aforó a 25 mL con etanol acidificado. Una vez realizado lo anterior, se registró la absorbancia a 535 nm (espectrofotómetro UV/VIS Perkin Elmer, Massachusetts, EUA, modelo Lambda 2) utilizando como blanco etanol acidificado. Las muestras se almacenaron a -20° C hasta su utilización. Para la cuantificación de antocianinas totales se utilizó el pigmento estándar cianidina 3-glucósido. La medición se realizó por triplicado. El cálculo de antocianinas totales se realizó aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo de antocianinas totales

$$C = (A/E) \times (\text{vol}/1,000) \times MW \times (1/\text{peso de la muestra}) \times 10^6$$

Dónde:

C = Concentración total de antocianinas (mg/100 g peso seco);

A= Absorbancia a 535 nm;

E= Absorbancia molar de la cianidina 3-glucósido = 25,965 cm⁻¹ M⁻¹

Vol= Volumen total del extracto de antocianinas

MW= Peso molecular de la cianidina 3-glucósido = 449.

La concentración de antocianinas se expresó en mg de cianidina-3-glucósido, equivalentes a 100 g de peso seco (modificado de Abdel-Aal y Hucl, 1999).

Cuantificación de la colonización de los HM en las plantas de fresa

Para la cuantificación de la colonización radical se utilizó la técnica reportada por Phillips y Hayman (1970), con algunas modificaciones, para esto se realizó la extracción y lavado de raíces con agua corriente de la llave, posteriormente se cortaron en fragmentos de aproximadamente un cm mismos que fueron puestos en tubos eppendorf, en seguida se le agregó KOH al 10% y se pusieron a baño maría por 15 minutos, transcurrido el tiempo se decantó el KOH y se enjuagaron varias veces las raíces con agua bidestilada hasta eliminarlo, después se le agregó HCL al 10% y se dejó reposar durante 3 minutos, se decantó el HCL y se le agregó el colorante azul de tripano al 0.05%, se dejó reposar a baño maría por 15 min, se retiró el colorante y se adicionó lactoglicerol hasta cubrir las raíces. Posteriormente, se visualizó al microscopio compuesto para determinar el porcentaje de colonización de los distintos tratamientos.

Cuantificación de las esporas presentes en las plantas de fresa

Para la cuantificación de esporas presente en los sustratos de las plantas de fresa se siguió la técnica de tamizado en húmedo y decantación reportada por Gederman y Nicholson (1963) con las mismas modificaciones realizadas para la extracción de esporas de los diferentes inóculos utilizados.

Análisis estadísticos

Para el estudio preliminar se realizó un análisis de varianza bajo un diseño factorial con 2 niveles con el programa SAS 9.0.

Los datos generados de las variables numéricas del segundo experimento se analizaron para ANOVA y prueba de rango múltiple de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) mediante un diseño experimental factorial con 2 niveles, nivel de fósforo (3) y el inóculo usado (2) utilizando el software libre R en su versión 4.1.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de esporas por gramo de suelo de los diferentes inóculos micorrícicos utilizados

El aislamiento de esporas por gramo de suelo (esporas g^{-1}) se muestra en la Figura 7, donde se observan los resultados del aislamiento de esporas de los dos inóculos micorrícicos utilizados, el inóculo del consorcio de HMS se obtuvo 152.8 esporas g^{-1} y en de HMC 41.35 g^{-1} .

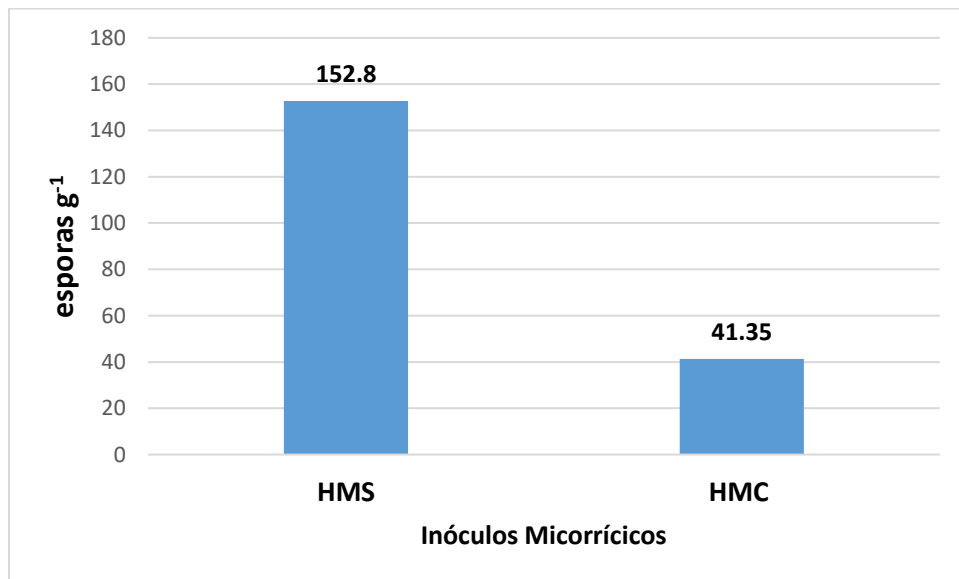


Figura 7. Cantidad de esporas por gramo de suelo según los diferentes inóculos. HMS= inóculo proveniente de suelo de arándano silvestre (*V. stenophilum*), HMC= inóculo de producto orgánico comercial.

Experimento preliminar variables agronómicas de las plantas de fresa var. Frontera

Biomasa fresca y seca del follaje y raíz

En la Figura 8 se muestran la biomasa fresca y seca de las plantas de fresa de los diferentes tratamientos. Los análisis estadísticos demuestran que no hubo

diferencias significativas en cuanto al peso fresco y seco del follaje entre el tratamiento inoculado con el consorcio de HMS y el inoculado con el consorcio de HMC, sin embargo, sí hubo diferencia entre los tratamientos con HM y el control. En caso de la biomasa seca (Figura 9) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El estudio realizado Trinidad-Cruz *et al.*, en el 2017, mostró un incremento en el peso fresco del follaje y raíz en tres de los cuatro tratamientos inoculados con HM nativos y el comercial en comparación con el control, sin embargo, no tuvieron diferencias significativas para biomasa seca entre los tratamientos inoculados con los consorcios de HM nativos y el HMC pero sí de estos con en tratamiento control, lo que coincide con el presente estudio.

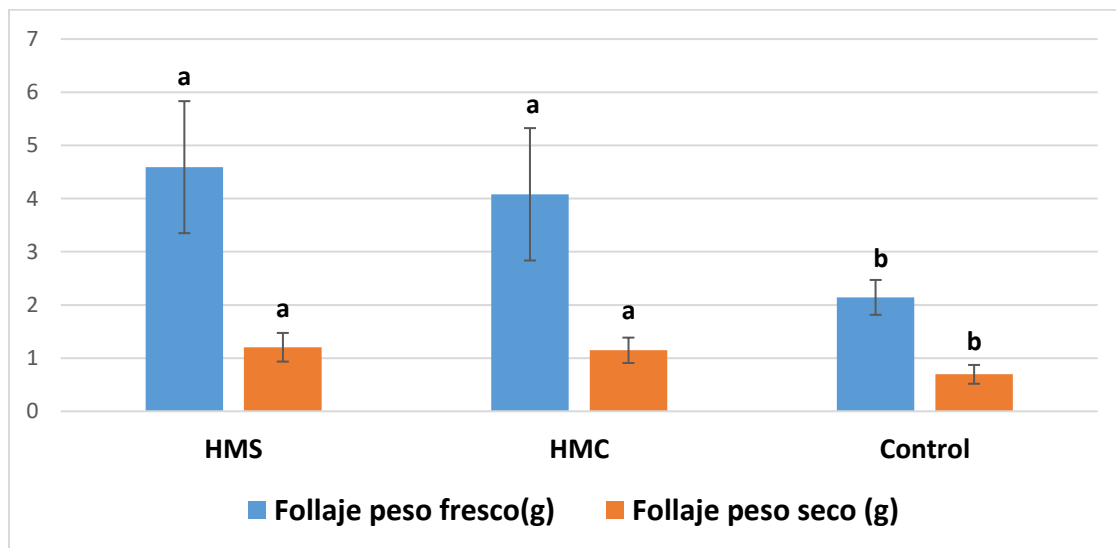


Figura 8. Biomasa fresca y seca (g) foliar de las plantas de fresa var. Frontera inoculadas con hongos micorrícicos silvestres (HMS), hongos micorrícicos comerciales (HMC) y el control sin inóculo micorrícico (CTL). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$).

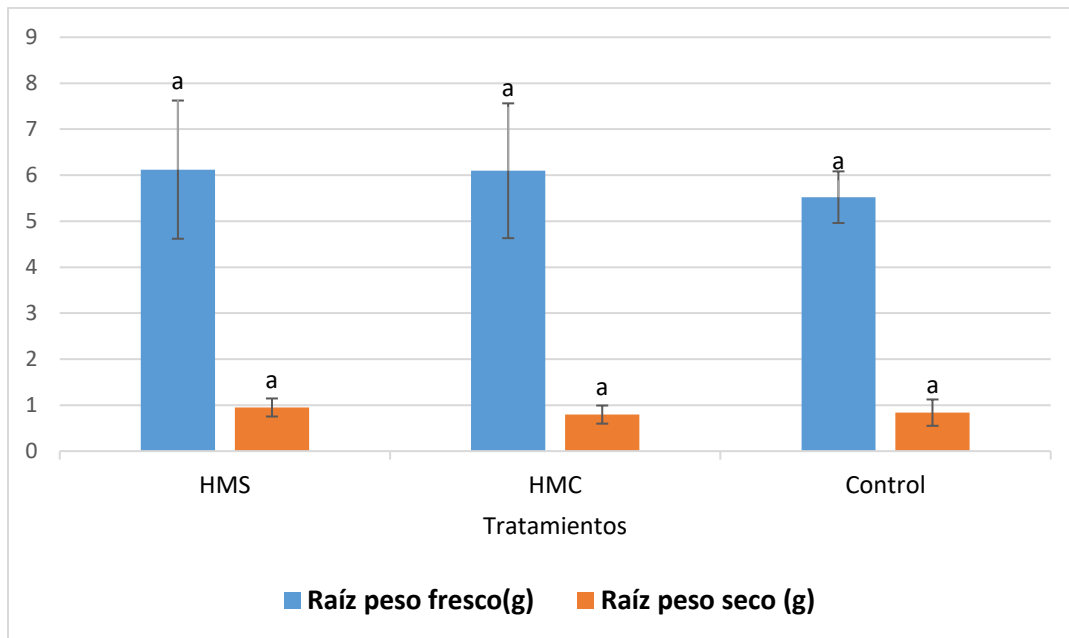


Figura 9. Biomasa fresca y seca (g) radicular de las plantas de fresa var. Frontera inoculadas con hongos micorrícicos silvestres (HMS), hongos micorrícicos comerciales (HMC) y el control sin inóculo micorrícico (CTL). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$).

Colonización de los HM en las plantas de fresa var. “Frontera”

No se observaron diferencias en el porcentaje de colonización (Figura 10) entre los tratamientos inoculados con HMS (86.66 %), y el inoculado con HMC (82.22 %), sin embargo; se observó mayor producción de vesículas y la presencia de arbuscúlos en el tratamiento inoculado con el consorcio de HMS. En el caso del tratamiento control se presentó colonización (20%) probablemente por hongos micorrícicos que se encontraban en el sustrato utilizado, sin embargo, la cantidad fue menor y estadísticamente diferente a los tratamientos inoculados con HM, a pesar de ser un suelo esterilizado probablemente sobrevivieron algunas esporas micorrícicas como se reporta en el estudio de Viera *et al.* (2017) o una contaminación cruzada.

En la Figura 11 se muestra la colonización en raíces de los tratamientos, se puede apreciar la formación de arbuscúlos y la variabilidad en formas de las vesículas en las raíces colonizadas por los HMS, de igual manera se observan las raíces

colonizadas del tratamiento con HMC y el control. Estos resultados concuerdan con lo reportado con Viera *et al.* (2017), quienes realizaron un estudio donde evaluaron la eficiencia del uso de hongos micorrícicos nativos provenientes de plantaciones de tomate de árbol y un producto comercial en el desarrollo de plántulas de cujaco (*Solanum hispidum*) y tabaquillo (*Nicotiana glauca*) y pudieron observar que las plantas inoculadas con los HMS tuvieron mayor porcentaje de colonización que el tratamiento inoculado con HMC.

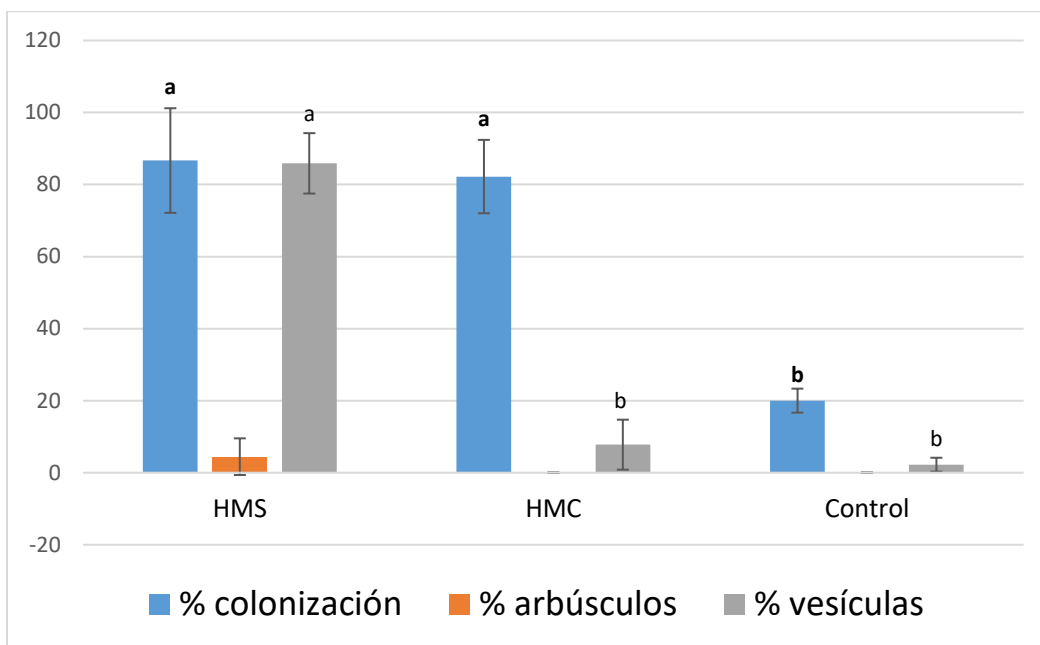


Figura 10. Porcentaje de colonización de las plantas de fresa var. Frontera inoculados con hongos micorrícicos silvestres (HMS), hongos micorrícicos comerciales (HMC) y el control sin inóculo micorrícico (CTL). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$).

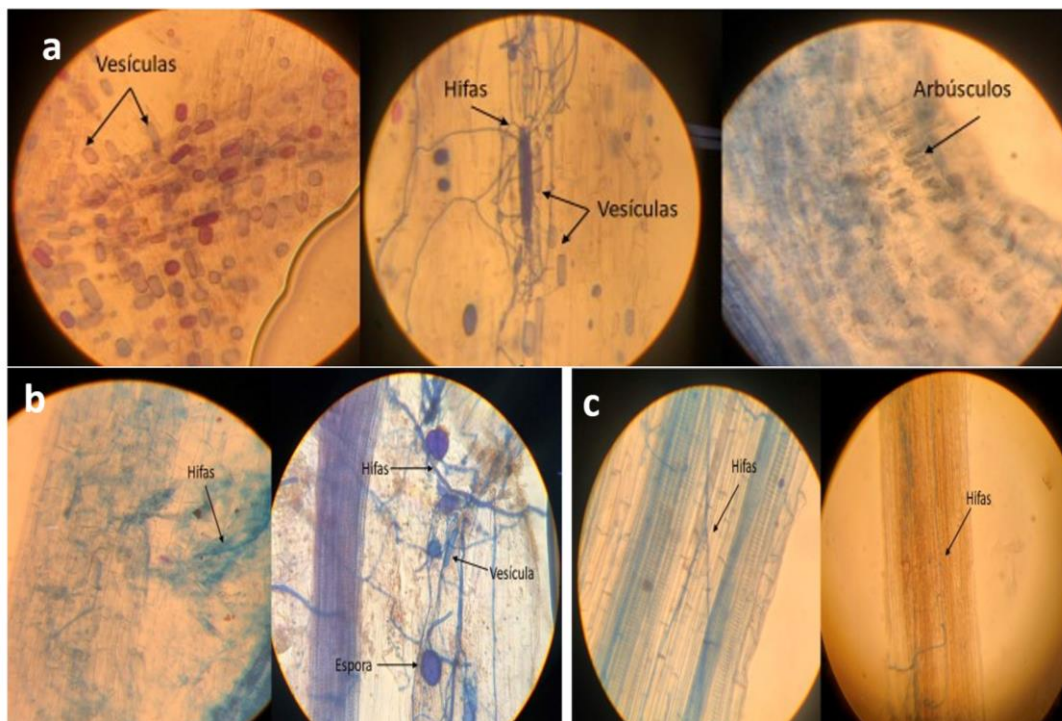


Figura 11. Colonización de HM en las raíces de fresa var. Frontera de los diferentes tratamientos. a) Raíz colonizada por el consorcio de HMS, b) raíz colonizada por el consorcio de HMC y c) raíz colonizada del CTL.

Cuantificación de las esporas por gramo de suelo presentes en las plantas de fresa var. “Frontera”

La Figura 12 muestra la cantidad de esporas gs^{-1} aisladas de los diferentes tratamientos. Los resultados muestran que el tratamiento inoculado con los HMS presentó mayor cantidad que el inoculado con los HMC. Al respecto, Quiñones-Aguilar *et al.*, (2020) realizaron un estudio donde inocularon en plantas de guayaba consorcios micorrícicos nativos provenientes de plantaciones de *Agave cupreata* del Estado de Michoacán y un producto comercial y uno de sus resultados fue mayor cantidad de esporas en los tratamientos inoculados con los consorcios micorrícicos nativos como se encontró en el presente estudio.

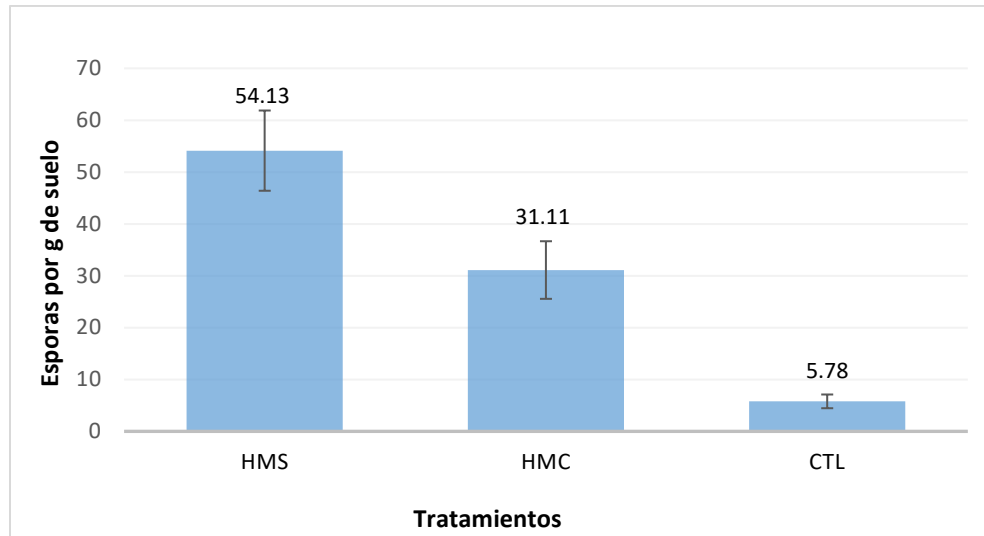


Figura 12. Cuantificación de esporas gs^{-1} presentes en los sustratos de las plantas de fresa var. “Frontera” inoculados con hongos micorrícicos silvestres (HMS), hongos micorrícicos comerciales (HMC) y el control sin inóculo micorrícico (CTL).

Identificación del patógeno

Aislamiento a partir de sustrato

En sustrato fue posible aislar dos hongos correspondientes al género *Fusarium* sp. Todas las características de morfología colonial y microscópicas correspondieron al género citado (Fig. 13).



Figura 13. Colonias de *Fusarium* sp. (A). aisladas del sustrato de plantas de fresa var. Frontera.

Aislamiento a partir de raíz y corona de plantas de fresa var. “Frontera”

Se observó consistente crecimiento fúngico en todas las muestras analizadas. Sin embargo, la incidencia de hongos fue menor (60%) en plantas que fueron tratadas con HM provenientes de plantas de arándano silvestre, lo cual refleja que los HM pueden proteger de la incidencia de fitopatógenos en el suelo. Las plantas tratadas con el consorcio de HMC tuvieron 78% de crecimiento fúngico y aquellas que no tuvieron tratamiento micorrícico presentaron el 100% (Figura 14).

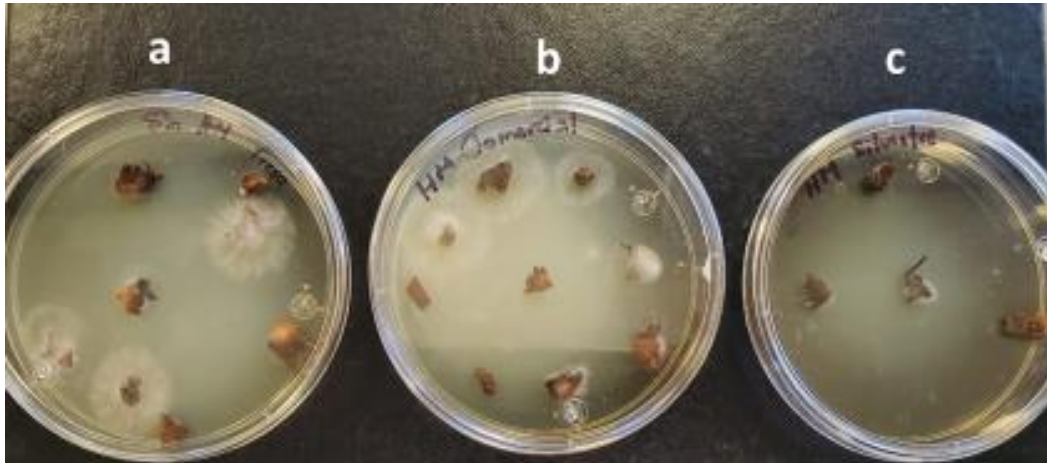


Figura 14. Colonias fúngicas obtenidas de muestras de raíz y corona de plantas de fresa inoculadas con HM. a) Testigo sin inóculo micorrícico (CTL), b) inóculo con hongos micorrícicos comerciales (HMC) y c) inóculo con hongos micorrícicos silvestres (HMS).

Las colonias fúngicas puras esporuladas a los 5 días después de la incubación, presentaron un micelio difuso color blanquecino que se tornó de color rosa-violeta lo cual demuestra su alta virulencia en el género *Fusarium* spp. (Solano-Báez *et al.*, 2011) (Figura 15).



Figura 15. Colonias fúngicas de los aislamientos a partir de raíz de fresa var. Frontera. Nótese el color rosa del micelio.

Al microscopio óptico se observó la presencia de hifas hialinas septadas con la presencia de macroconidios multicelulares en forma de canoa característicos del género *Fusarium* y microconidios hialinos, bicelulares oblongos (Figura 16).

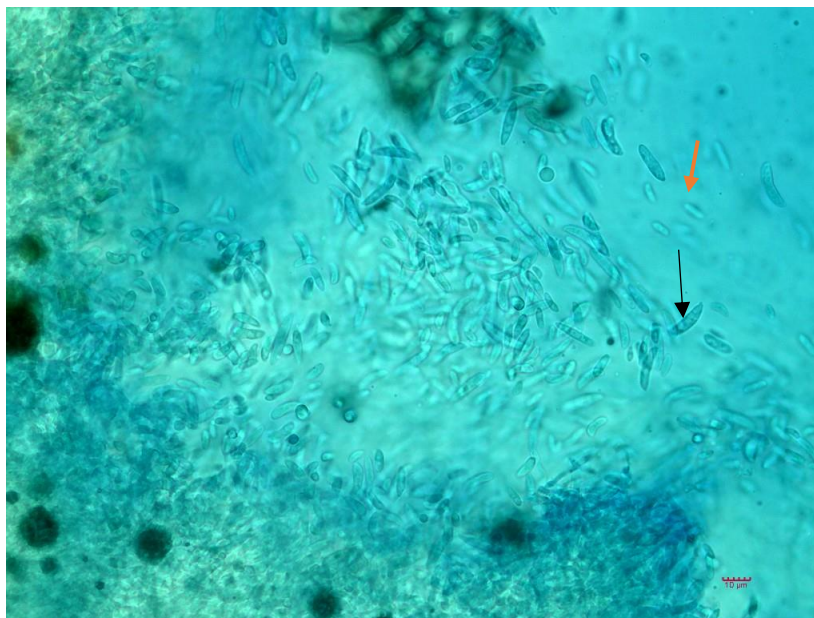


Figura 16. Macro y microconidios de las colonias fúngicas de *Fusarium* sp. La flecha en naranja indica microconidios bicelulares y flecha en negro conidios en forma de canoa multicelulares.

De acuerdo a la clave de Barnett y Hunter (1998), Leslie y Summerell (2006) y Hernández-Cruz *et al.* (2020), todas las cepas fúngicas correspondieron al género *Fusarium* sp., aunque no se llegó al taxón de *forma specialis* es posible que por su asociación con el hospedante y características microscópicas corresponda a la especie *F. oxysporum* f.sp *fragariae* (Nam *et al.*, 2017; Hernández-Cruz *et al.*, 2020).

Viabilidad de las plantas de fresa var. “Frontera”

La Figura 17 indica la cantidad de plantas vivas frente al ataque del hongo fitopatógeno *Fusarium* sp., así como la incidencia de la plaga araña roja. Los resultados indican una mayor viabilidad en los tratamientos inoculados con los HM,

sobre todo el tratamiento inoculado con el consorcio de HMS el cual tiene 93.3% de viabilidad, el tratamiento inoculado con el consorcio de HMC presentó 53.3 % y el CTL 20%. Ramírez-Gómez y Rodríguez (2012), mencionan que posiblemente la interacción de consorcios, tienen un mayor potencial al control de enfermedades, debido a que puede haber en ellos organismos especializados para diversos ataques, es decir, que pueden encontrarse organismos especializados para procesos de nutrición, mientras que se relacionan con los procesos de tolerancia a factores bióticos o abióticos. Un estudio realizado por Trinidad-Cruz *et al.* (2017), muestra la importancia de los HM para el control del hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum*; en ese estudio inocularon a plantas de agave cuatro consorcios de hongos micorrícicos nativos del estado de Michoacán, una micorriza comercial INIFAP y un control sin inóculo micorrícico. Obtuvieron como resultado una disminución del daño causado por *F. oxysporum* del 41% en las plantas inoculadas con HM en comparación del testigo sin inoculante lo que coincide con el presente estudio. Los HMA activan mecanismos de defensa frente a plagas y patógenos como la “resistencia inducida” y también por el espacio previamente ocupado de las raicillas por estos HM (Noda, 2009; Ramírez-Gómez y Rodríguez, 2012), también se ha visto que los HM influyen en la herbivoría a través de alteraciones en los componentes constitutivos de defensa inducibles y tolerancia a las plagas (Gehring y Bennett, 2009).

En la Figura 18 se presenta de manera ilustrativa los diferentes tratamientos con el ataque del hongo fitopatógeno *Fusarium sp.*

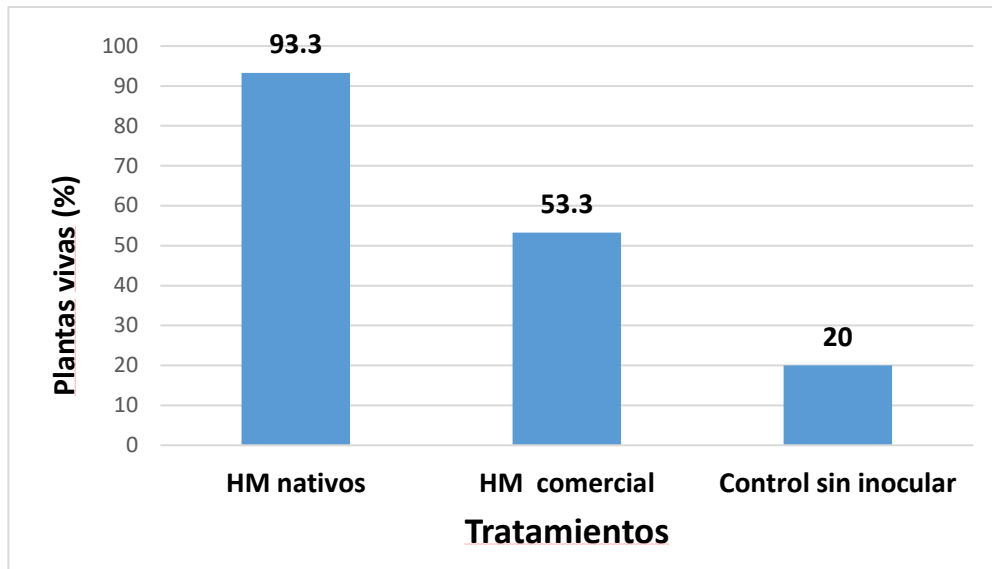


Figura 17. Porcentaje de viabilidad de las plantas de fresa var. Frontera después del ataque por el hongo fitopatógeno *Fusarium* sp. y araña roja.



Figura 18. Plantas de fresa frente al ataque del hongo fitopatógeno *Fusarium* sp. y Araña roja, a) Plantas de fresa inoculadas el consorcio de HMS, b) Plantas de fresa inoculadas con el consorcio de HMC y c) Plantas de fresa CTL.

Variables agronómicas de las plantas de fresa cv. “Festival” del segundo experimento

Clorofila

Los resultados de la medición de clorofila (Unidades Spad) en plantas de fresa muestran que los tratamientos inoculados con HMS, con niveles de fertilización fosfórica de 0 y 30 ppm, presentaron los valores más altos (Figura 19). Por otro lado, los tratamientos inoculados con los HMC presentaron una disminución proporcional conforme aumentó la concentración de fósforo, sin embargo, el contenido de clorofila en estos tratamientos fue similar al de plantas control. Carrillo *et al.* (2014), realizaron un estudio donde inocularon el hongo *Rhizophagus intraradices*, en plantas de tomate y observaron que los valores más altos de clorofila fueron encontrados en el tratamiento inoculado con el HM en comparación del testigo sin inocular. Estos mismos autores mencionan que este efecto podría deberse al mejor aprovechamiento de los nutrimentos inmóviles del suelo causado por la simbiosis planta-hongo micorrícico arbuscular. En cambio, en otro estudio se menciona que el aumento se debe al incremento de pigmentos fotosintéticos derivados de la simbiosis micorrícica (Díaz-Franco *et al.*, 2013), pues se conoce que esta simbiosis induce mayor producción de la clorofila (Begum *et al.*, 2019). El aumento de la clorofila también se ha documentado en pastos, en donde se explica que derivado de este incremento, se observa también mayor absorción de nutrientes y producción de fitohormonas (Noda, 2009). El análisis factorial reveló que la cantidad de clorofila se vio afectada por todos los factores (T: diferentes inóculos micorrícicos, P: diferentes niveles de fósforo adicionado, T*P: combinación).

Trabajos integrales que relacionen la aplicación de HM, los niveles de fósforo y contenido de clorofila se han realizado de forma independiente. Sin embargo, en un estudio en fresa se encontró que cuando se adicionaba 30% de P en forma de fosfito en la solución nutritiva, se obtuvo mayor contenido de clorofila a y b, lo que demostró la importancia del P como elemento que mejoró la calidad en fresa (Estrada-Ortíz *et al.*, 2011).

En jitomate, cuando se inoculó *Rhizophagus intraradices*, las plantas incrementaron significativamente el contenido de clorofila así como otros parámetros de crecimiento como la altura de planta y la colonización micorrícica. También, se encontraron incrementos significativos en el largo, diámetro y peso de fruto, y finalmente; aumentó el rendimiento de fruto por corte y el rendimiento acumulado en 30% (Alvarado-Carrillo *et al.*, 2014).

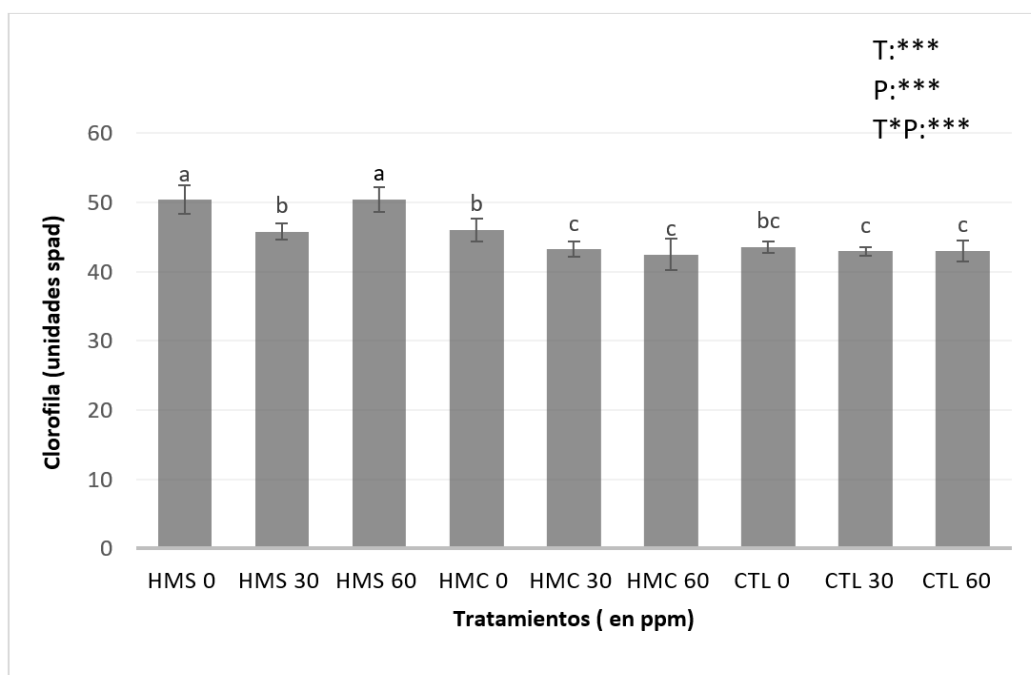


Figura 19. Estimación de clorofila en fresa var. Festival con y sin hongos micorrícicos. Letras diferentes en cada barra indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Altura

La altura de las plantas de fresa se evaluó a los 60 días después de la inoculación (Figura 20). Los tratamientos inoculados con los consorcios micorrícicos tuvieron significativamente mayor altura que los control ($p \leq 0.05$), destacando los tratamientos inoculados con el consorcio de HMS, los cuales alcanzaron portes más altos independientemente de los niveles de P adicionado; en cambio, el tratamiento inoculado con los HMC se vio más beneficiado con la adición de 60 ppm de P. El análisis factorial mostro diferencias significativas entre los inóculos utilizados (T) y los niveles de fósforo (P), pero no presentó diferencias significativas para la interacción de ambos factores (T*P). Los resultados concordaron con los reportados por Arias-Mota *et al.* (2019), quienes probaron un consorcio de hongos micorrícicos nativos de la región Xalapa, Veracruz, así como hongos solubilizadores de fósforo en plantas de jitomate, y como resultado obtuvieron plantas con mayor porte en aquellos tratamientos inoculados con los microorganismos respecto al tratamiento testigo. Así mismo, el estudio realizado por Bautista *et al.* (2017), resultó en mayor altura de las plantas de arándano que fueron inoculadas con un consorcio micorrícico aislado de una especie de *Gaultheria* de un bosque aledaño de la ciudad de Morelia en comparación del resto de los tratamientos.

En un estudio similar Alarcón y Ferrera-Cerrato (2003), inocularon el consorcio micorrícico *Glomus Zac-19* en *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, con fertilización fosfatada de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg P kg⁻¹ y encontraron que la inoculación del consorcio incrementó sustancialmente la altura de la planta, el diámetro y la tasa de crecimiento acumulado del tallo y la materia seca total. De manera interesante, ellos encontraron que el P no disminuyó significativamente la colonización de las micorrizas.

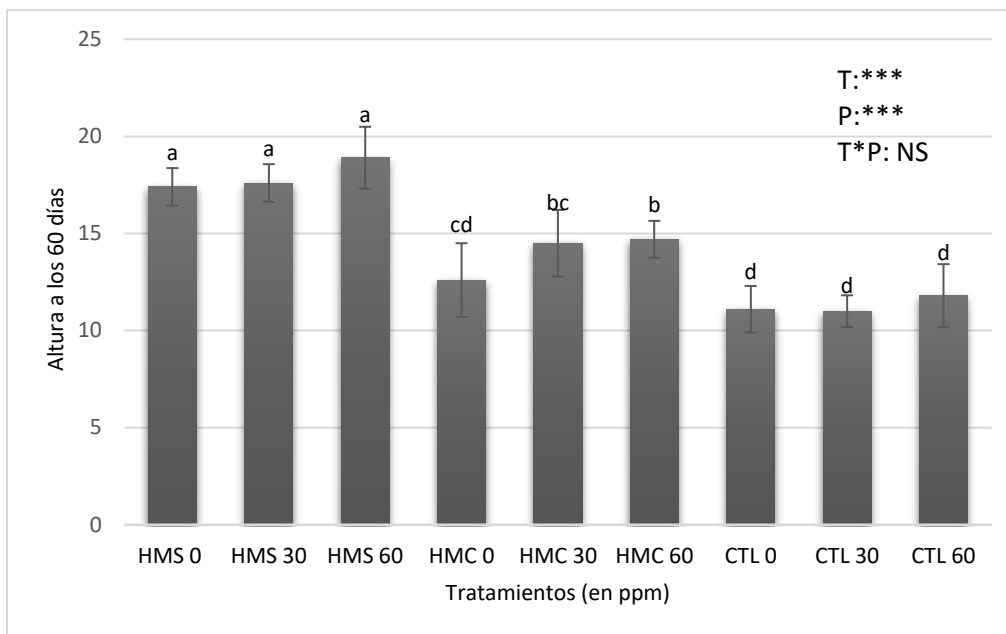


Figura 20. Altura de las plantas de fresa var. Festival inoculadas con HM y control. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Biomasa fresca y seca

Se encontró una similitud entre las variables de biomasa fresca y seca radicular y foliar cuando se inocularon con los HMS, respectivamente (Cuadro 3). La biomasa fresca no fue estadísticamente diferente para estos tratamientos independientemente de los diferentes niveles de fósforo utilizados, siendo estos los que presentaron significativamente mayor biomasa fresca tanto de follaje como de raíz en comparación con los tratamientos con HMC y CTL ($p \leq 0.05$), lo cual sugiere que los HMS favorecieron la absorción y movimiento de nutrientes y no necesariamente son limitativos según la cantidad o niveles de fósforo aplicado, lo que concuerda con lo observado por Noda (2009) quien en un estudio de revisión

sobre inoculación de HM en pastos, señala que en suelos con altos contenidos de P la utilización formación de micorriza incrementa el crecimiento y el establecimiento temprano de las gramíneas. En el mismo cuadro puede observarse que los tratamientos de HMS con los niveles de 30 y 60 ppm de P no limitaron los beneficios de la micorriza ya que promovieron una biomasa fresca de raíz y follaje y una biomasa seca de follaje muy similar a la de las plantas con solo el HM con 0 ppm de P, solo en el caso del tratamiento con 60 ppm de P la biomasa seca del follaje fue significativamente mayor que la del tratamiento sin P pero inoculado con HMS, esto coincidió con lo que reportó Días *et al.* (2019), quien observó que plantas de café inoculadas con hongos micorrícicos arbusculares presentaron distintos beneficios como la altura de planta hasta 28% más que el testigo según el nivel de P aplicado. El efecto del nivel dependiente parece ser más acentuado cuando se utilizan hongos micorrícicos comerciales que silvestres, lo cual es un gran aporte que se corrobora en esta investigación.

El análisis factorial reveló que la biomasa fresca se vio influenciada por los diferentes inóculos micorrícicos utilizados (T) y no por los diferentes niveles del P pero sí por su interacción (T*P). Sin embargo, la biomasa seca radicular solo fue afectada por la inoculación por los HM; en cambio, la biomasa seca foliar fue afectada por todos los tratamientos y los niveles de fósforo, así como por su interacción.

Cuadro 3. Biomasa radicular y foliar de plantas de fresa var. “Festival” inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.

Tratamientos (en ppm)	Peso fresco radicular	Peso seco radicular (g)	Peso fresco del follaje	Peso seco del follaje
HMS 0	20.6 ± 1.95 a	4.96 ± 0.68 a	17.2 ± 1.30 a	1.47 ± 0.11 bc
HMS 30	22 ± 4.125 a	4.34 ± 1.49 abc	19.4 ± 1.82 a	1.55 ± 0.04 ab
HMS 60	21.2 ± 4.02 a	4.60 ± 1.34 ab	21 ± 4.30 a	1.68 ± 0.12 a
HMC 0	8.8 ± 1.48 cd	2.00 ± 0.56 de	5.4 ± 1.67 bc	1.41 ± 0.07 bc
HMC 30	11.4 ± 2.41 bc	2.46 ± 0.51 bcde	7.4 ± 2.51 bc	1.21 ± 0.15 d
HMC 60	8 ± 1.87 cd	1.82 ± 0.40 e	7.76 ± 2.28 bc	1.43 ± 0.11 bc
CTL 0	14.6 ± 2.88 b	4.00 ± 1.49 abc	10.6 ± 2.70 b	1.20 ± 0.13 d
CTL 30	4.2 ± 1.64 d	1.62 ± 1.41 e	4.6 ± 0.55 c	1.21 ± 0.09 d
CTL 60	9.4 ± 1.95 bcd	2.30 ± 0.56 de	9 ± 3.32 bc	1.35 ± 0.13 cd
Tratamiento (T)	***	***	***	***
Fósforo (P)	NS	NS	NS	***
(T*P)	***	NS	***	***

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Rendimiento

En la Figura 21 se presenta el análisis del rendimiento final de los diferentes tratamientos. Los mayores rendimientos se obtuvieron de aquellas plantas que fueron inoculadas con los HMS, en específico cuando se les suplementó con un nivel fosfórico de fertilización de 60 ppm, el cual a su vez presentó la mayor cantidad de frutos. Por el contrario, los valores más bajos respecto al rendimiento y cantidad de frutos se encontraron en los tratamientos sin inóculo micorrícico (CTL). Los tratamientos inoculados con HMC y los controles nuevamente fueron afectados conforme incrementó el fósforo, dando una disminución en su rendimiento. En diversos estudios se ha encontrado que las micorrizas comerciales son más eficientes cuando la fertilización fosfórica no sobrepasa el 50% de la dosis recomendada en café (Días *et al.*, 2019).

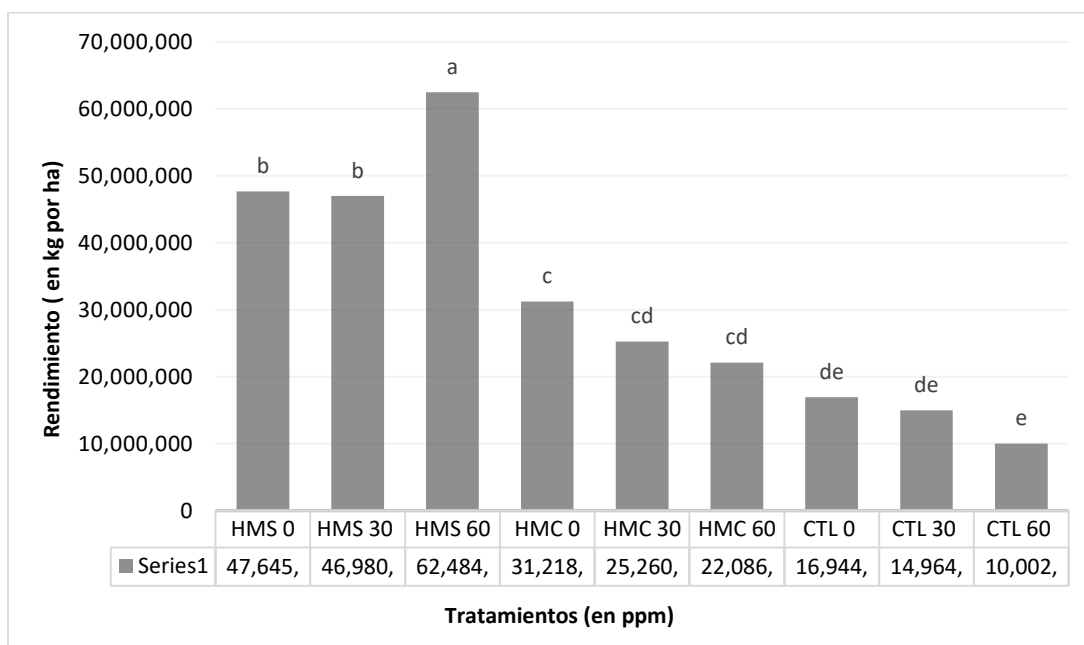


Figura 21. Rendimiento de fresa var. Festival inoculadas con HM y sin inóculo bajo niveles de fertilización de P (0,30 y 60 ppm), HMS= plantas de fresa con HMS, HMC= plantas de fresa con HMC, CTL= plantas de fresa sin inóculo micorrícico.

Resultados similares fueron obtenidos por Cobrales *et al.* (2016), quienes evaluaron cuatro especies de HM nativos provenientes de suelos de la Sabana del Estado de Guárico en Venezuela, bajo distintos niveles de fertilización con P (0, 27, 54 y 80 kg ha⁻¹), y la mezcla (consorcio nativo) inoculándolos en plantas de maíz; los resultados mostraron un mayor rendimiento en los tratamientos donde utilizaron hongos micorrícicos nativos del género *Acaulospora mellea* y el consorcio nativo con las dosis de fertilización de 54 y 80 kg ha⁻¹, también observaron que entre más cantidad de P y hasta cierta dosis del mismo, resultaba en mayor rendimiento. Otro estudio relacionado es el de Carrillo *et al.* (2014), quienes evidenciaron un incremento en el rendimiento en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) por la utilización de HM; el rendimiento aumentó hasta 30% en las plantas que se inocularon con el hongo micorrícico arbuscular (*Rhizophagus intraradices*) comparado con el testigo sin inoculación. Los últimos autores también reportaron que la inoculación de *R. intraradices* también presentó mayor cantidad, peso, tamaño de los frutos y por ende mayor rendimiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, en donde los tratamientos inoculados con los hongos HM presentaron mayor número de frutos que el control (Figura 22).

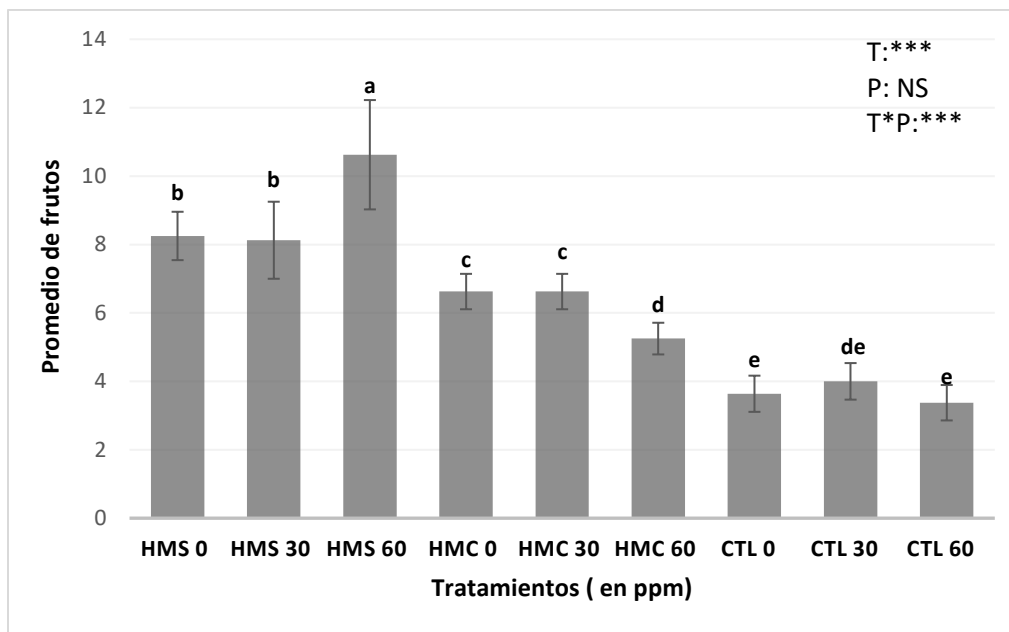


Figura 22. Promedio de frutos en fresa var. Festival inoculadas con HM y sin inóculo micorrícico. Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

En la Figura 23, se presenta el tamaño de los frutos de fresa obtenidos de los diferentes tratamientos. Los análisis muestran una variabilidad en éstos, sin embargo, los tratamientos que tuvieron frutos con mayor tamaño fueron los inoculados con HMS en todos los niveles de P suplementados; en cambio, el tratamiento inoculado con HMC con 30 ppm de P, presentó significativamente menor tamaño de frutos que con los niveles de 0 y 60 ppm de P ($p \leq 0.05$). El análisis factorial mostró que el tamaño de los frutos en su diámetro polar y ecuatorial fue influenciado por todos los factores considerados, es decir, la inoculación con los HM y los niveles de fósforo aplicado, así como por la interacción entre ambos factores. Los tratamientos control, presentaron un comportamiento similar al de los inoculados con HMC.

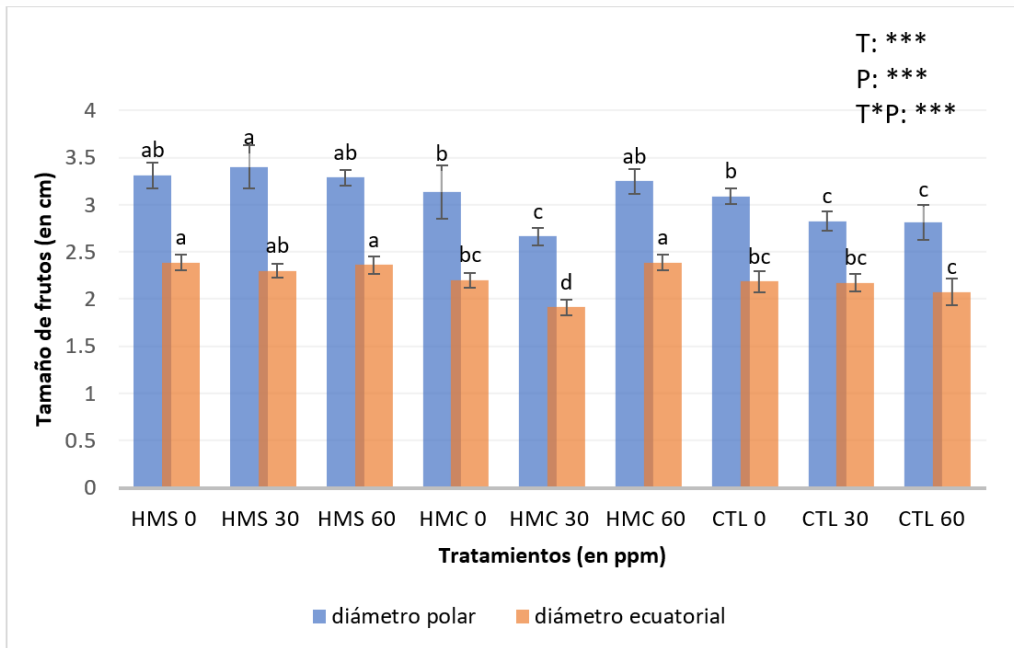


Figura 23. Tamaño de frutos de fresa var. Festival inoculadas con HM y control. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Peso de frutos

En relación con el peso de fruto (Figura 24), se encontró que los tratamientos con los frutos de mayor peso fueron los inoculados con los HMS en los tres niveles de fertilización con P (0, 30 y 60 ppm), sin embargo, el de menor peso de estos tres tratamientos fue el que no tuvo suplemento de P (0 ppm). Respecto a los inoculados con HMC y CTL, tuvieron los pesos similares entre sí pero significativamente menores comparándolos con los HMS ($p \leq 0.05$), lo que muestra la importancia de la interacción de diversos hongos micorrícicos con las plantas. Lo anterior se refuerza con el análisis factorial que revela gran influencia en el factor T (diferentes inóculos micorrícicos) y su interacción con el P (T*P).

El aumento en el tamaño de frutos observado en las plantas micorrizadas podría deberse al aumento del nivel fitohormonal endógeno de los promotores de crecimiento, lo cual origina un aumento en el tamaño del polen y por ende del fruto (Noda, 2009; Palencia *et al.*, 2013). Otro factor podría ser la mejor nutrición que las plantas micorrizadas obtienen con la ayuda del simbionte (Díaz-Franco *et al.*, 2013; Días *et al.*, 2019). Se ha observado que las plantas micorrizadas dan frutos con mayor tamaño como lo comprueba Palencia *et al.* (2013) en su estudio, quienes obtuvieron un incremento de peso en los frutos de fresa al ser inoculadas con el HMA del género *Glomus intraradices*.

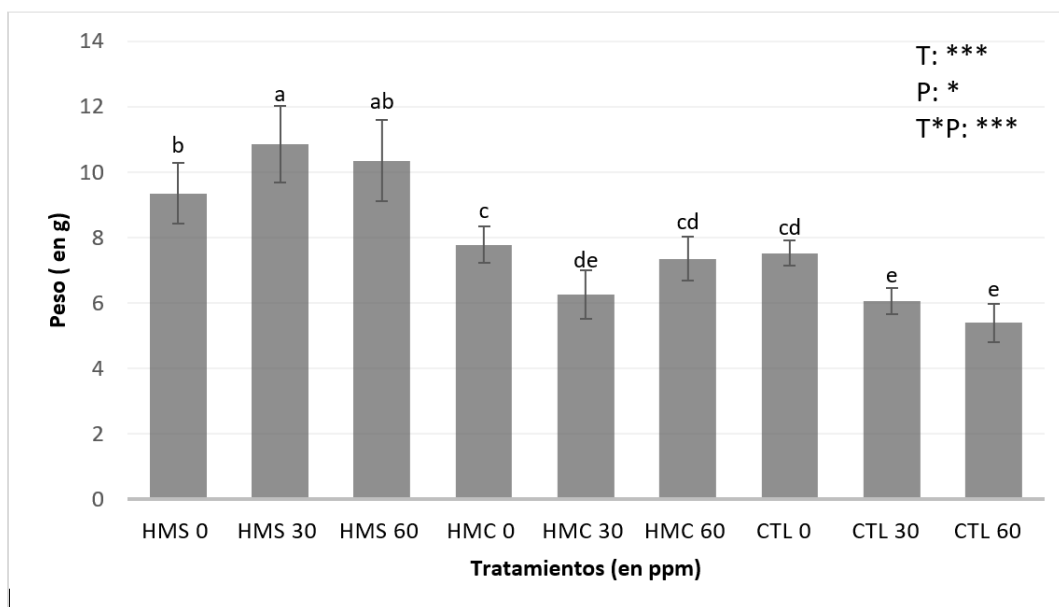


Figura 24. Peso de los frutos de fresa var. Festival inoculadas con HM y control. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Calidad interna de los frutos de fresa var. "Festival"

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de pH, °Brix, acidez titulable y firmeza. La firmeza obtenida en frutos de los diferentes tratamientos se reportó en kilogramos fuerza (Kgf) y los frutos con mayor firmeza fueron los inoculados con HMS con un nivel de fertilización de 60 ppm. Los resultados mostraron una tendencia a presentar mayor contenido de °Brix en los frutos cuando las plantas recibieron inoculación con los HMS, pero en general, este contenido fue similar en la mayoría de los tratamientos con excepción del tratamiento CTL con 30 ppm de P, el cual presentó los valores más bajos. Respecto al pH de los frutos, se observó que fue muy similar en todos los tratamientos, presentando un pH ácido de 3 a 3.5 sin embargo, el valor más bajo fue para el tratamiento CTL con el nivel de fertilización con P de 60 ppm. Los resultados del porcentaje de acidez titulable (AT) de los frutos de fresa mostraron similitud en los tratamientos inoculados con los HM, sin embargo, se aprecian diferencias entre estos y los controles con 0 y 60 ppm de P, resultando los testigos con menor de AT. Los componentes de calidad de la fresa se han visto favorecidos cuando se utilizan HM; como lo demostraron Cordeiro *et al.* (2019), quienes encontraron incrementos en el pH, el contenido de sólidos solubles totales, la proporción de sólidos solubles/acidez titulable y los compuestos fenólicos. En el mismo sentido, Soria (2012), encontró que es posible mejorar los parámetros como °Brix, acidez titulable y algunos otros cuando se inoculan HM en variedades de fresa. El análisis factorial muestra influencia de los dos factores evaluados (inóculo, nivel de P) y de la interacción de ambos para las variables estudiadas, con excepción de los °Brix el cuál no fue significativo para la interacción entre el inóculo y el nivel de fósforo.

Cuadro 4. Características de calidad interna de los frutos de fresa var. “Festival” inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.

Tratamientos	Acidez titulable	pH	°Brix	Firmeza (Kgf)
HMS 0 ppm	0.26 ± 0.26 cd	3.26 ± 0.03 a	6.0 ± 0.80 a	1.47 ± 0.11 bc
HMS 30 ppm	0.28 ± 0.01 bc	3.19 ± 0.04 ab	6.0 ± 0.00 a	1.55 ± 0.04 ab
HMS 60 ppm	0.31 ± 0.02 a	3.21 ± 0.03 a	6.0 ± 0.00 a	1.68 ± 0.12 a
HMC 0 ppm	0.27 ± 0.02 bc	3.20 ± 0.04 ab	5.29 ± 0.45 bc	1.41 ± 0.07 bc
HMC 30 ppm	0.27 ± 0.02 cd	3.22 ± 0.02 a	5.63±0.52 abc	1.21 ± 0.15 d
HMC 60 ppm	0.30 ± 0.01 ab	3.20 ± 0.04 ab	5.71± 0.45 ab	1.43 ± 0.11 bc
CTL 0 ppm	0.24 ± 0.01 de	3.16 ± 1.67 ab	5.29± 0.45 bc	1.20 ± 0.13 d
CTL 30 ppm	0.27 ± 0.01 bc	3.25 ± 0.11 a	5.0 ± 0.00 c	1.21 ± 0.10 d
CTL 60 ppm	0.22 ± 0.02 e	3.10 ± 0.12 b	5.71±0.45 ab	1.35 ± 0.13 cd
Tratamiento (T)	***	*	***	***
Fósforo (P)	**	*	*	***
(T*P)	***	**	NS	*

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos

Compuestos nutraceuticos

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de compuestos nutraceuticos de los frutos de plantas inoculadas y no inoculadas (Cuadro 5). Sin embargo, para fenoles el mejor tratamiento resultó cuando se aplicaron los HMC con la nutrición fosfórica de 60 y 30 ppm. Para los HMS el mejor resultado se observó cuando se suplementó la nutrición con 30 ppm de fósforo. El único tratamiento que favoreció el incremento en el contenido de fenoles, fue aquel con HMC seguido del tratamiento con HMS a 30 ppm. En el caso del contenido de antocianinas el tratamiento con HMC sin adición de fósforo resultó mejorar la acumulación de estos compuestos, seguido del tratamiento con HMS y 60 ppm. En términos generales, se ha encontrado que la mayoría de compuestos fenólicos y algunos minerales se pueden favorecer cuando se inoculan HM lo que concuerda con el presente estudio (Castellanos-Morales *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Compuestos nutraceuticos de los frutos de fresa var. "Festival" inoculadas con consorcios de hongos micorrizicos silvestre y comercial, a distintos niveles de f3sforo.

Tratamiento	Fenoles	Flavonoides	Antocianinas
	mg EGalico/gPS	mg Erutina/Gps	mg Cianidina/gPS
HMS 0 ppm	22.11 ± 0 g	35.54 ± 0 e	17.37 ± 0 e
HMS 30 ppm	23.95 ± 0 e	45.57 ± 0.37 bc	22.69 ± 0.10 c
HMS 60 ppm	23.09 ± 0 f	36.95 ± 1.70 de	24.82 ± 0.30 b
HMC 0 ppm	25.46 ± 0.12 b	50.39 ± 1.60 a	25.81 ± 0.283 a
HMC 30 ppm	24.56 ± 0.28 d	39.55 ± 2.21 d	22.05 ± 0.19 c
HMC 60 ppm	26.61 ± 0 a	43.84 ± 2.33 c	18.28 ± 0.29 d
CTL 0 ppm	21.77 ± 0 h	36.84 ± 0.40 de	25.20 ± 0 ab
CTL 30 ppm	23.23 ± 0 f	45.56 ± 0.53 bc	14.26 ± 0.32 f
CTL 60 ppm	25.13 ± 0 c	48.39 ± 0.36 ab	18.63 ± 0.28 d
Tratamiento (T)	***	***	***
F3sforo (P)	***	**	***
(T*P)	***	***	***

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos v3as se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes in3culos micorrizicos, P: niveles de f3sforo y T*P: efecto de la interacci3n de los tratamientos con los diferentes niveles de f3sforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrizico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrizico comercial; CTL: plantas sin in3culo micorrizico; 0, 30 y 60: niveles de f3sforo en partes por mill3n (ppm) implementado en los diferentes tratamientos.

Colonización de plantas de fresa var. “Festival” por los HM

La colonización y la inducción de estructuras de micorrización (vesículas y arbusculos) en las raíces de fresa fueron evidentemente favorecidas por la inoculación del consorcio de HMS y la adición de fósforo en 30 y 60 ppm (Cuadro 6), mostrando los valores estadísticamente más altos al compararse con los tratamientos inoculados con el consorcio de HMC, los cuales no tuvieron diferencias significativas entre ellos independientemente de los niveles de P adicionado, como lo mostró el análisis factorial al no mostrar significancia del factor P y su interacción con el inóculo (P*T), pero sí de los inóculos micorrícicos utilizados (T). Bautista *et al.* (2017), realizaron un estudio en el cual evaluaron un consorcio de hongos micorrícicos silvestres nativos de *Vaccinuim confertun*, el hongo micorrícico *Gaultheria* sp. nativo de un bosque aledaño de Morelia y un consorcio micorrícico comercial en plantas de arándano comercial; encontraron una ligera colonización solo con los hongos nativos en especial en las plantas tratadas con *Gaultheria* sp. superando al consorcio silvestre de *V. confertun*. Respecto a los tratamientos controles de la presente investigación se observó una ligera colonización, lo que pudo deberse a la persistencia de esporas en los suelos ya que se consideran estructuras de supervivencia del hongo, además de que puede presentarse estados de dormancia o quiescencia como lo menciona Viera *et al.* (2017), debido a que en este estudio el suelo utilizado no fue esterilizado.

Cuadro 6. Colonización de los hongos micorrícicos en las plantas de fresa var. “Festival” inoculadas con consorcios de hongos micorrícicos silvestre y comercial, a distintos niveles de fósforo.

Tratamiento	Colonización	Vesículas	Arbúsculos
		%	
HMS 0 ppm	98.89 ± 1.92 a	85.00 ± 1.67 a	32.22 ± 3.849 a
HMS 30 ppm	96.67 ± 3.33 a	85.00 ± 1.67 a	28.32 ± 1.666 a
HMS 60 ppm	91.11 ± 1.92 ab	81.64 ± 1.67 a	13.33 ± 3.333 b
HMC 0 ppm	85.56 ± 3.85 b	58.32 ± 1.67 b	-
HMC 30 ppm	82.22 ± 6.94 b	41.64 ± 1.67 c	3.333 ± 5.773 c
HMC 60 ppm	83.33 ± 3.33 b	28.32 ± 1.67 d	1.111 ± 1.924 c
CTL 0 ppm	13.33 ± 3.33 c	5.00 ± 1.67 e	-
CTL 30 ppm	13.33 ± 3.33 c	4.44 ± 1.92 e	-
CTL 60 ppm	15.56 ± 1.92 c	4.44 ± 1.924 e	-
Tratamiento (T)	***	***	***
Fósforo (P)	NS	***	***
(T*P)	NS	***	***

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos.

Las Figuras 25, 26 y 27 ilustran la colonización de las raíces de las plantas de fresa, se aprecia la presencia de vesículas y arbuscúlos en los diferentes tratamientos con los distintos niveles de P. Se observó que los HMS indujeron la formación de un mayor número vesículas y arbuscúlos en las raíces. Tal como lo mencionaron Andrade-Torre (2010) y Lutzoni *et al.* (2018), la observación interna de vesículas y arbuscúlos en las raíces es evidencia del establecimiento de micorrización.

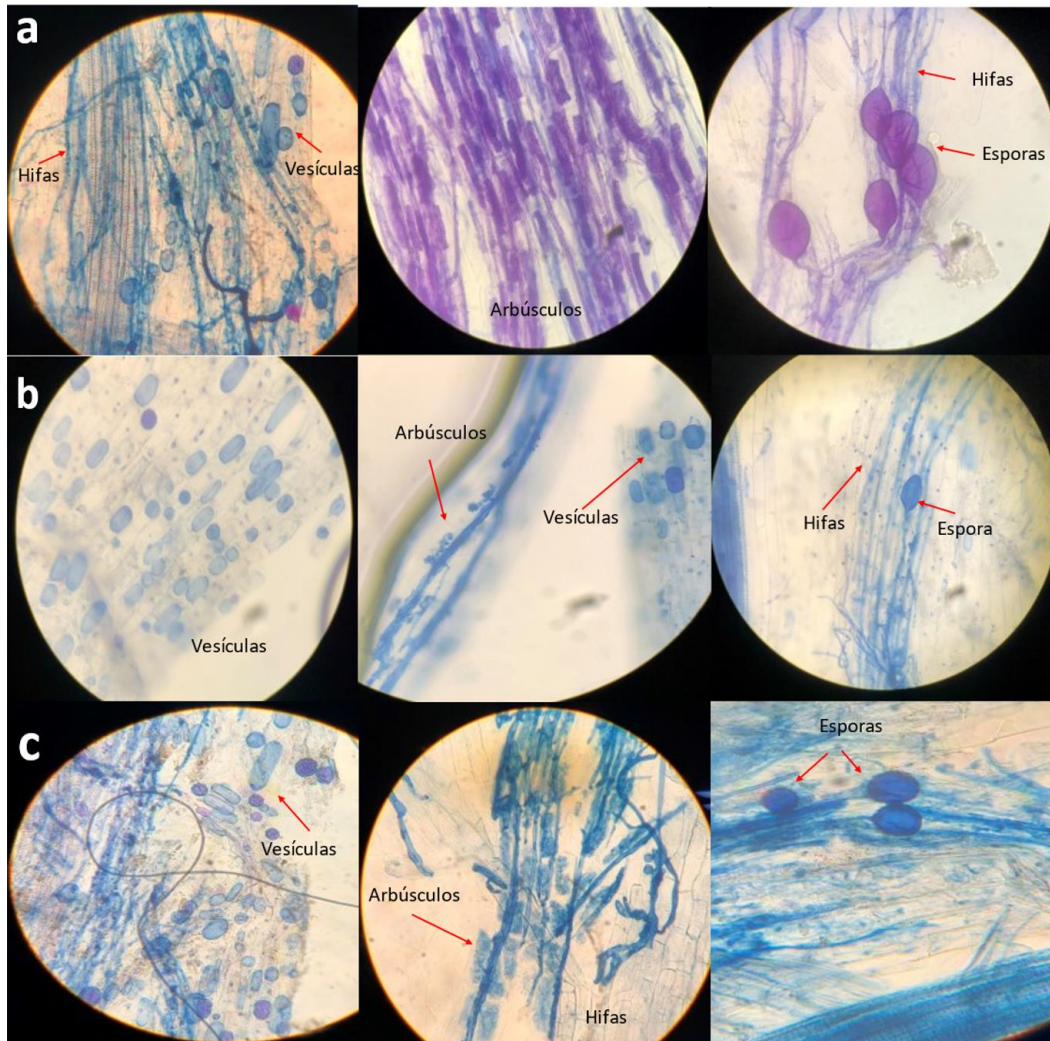


Figura 25. Estructuras de colonización micorrícica con HMS en raíz de fresa var. Festival a 0 (A), 30 (B) y 60 ppm de fósforo (C).

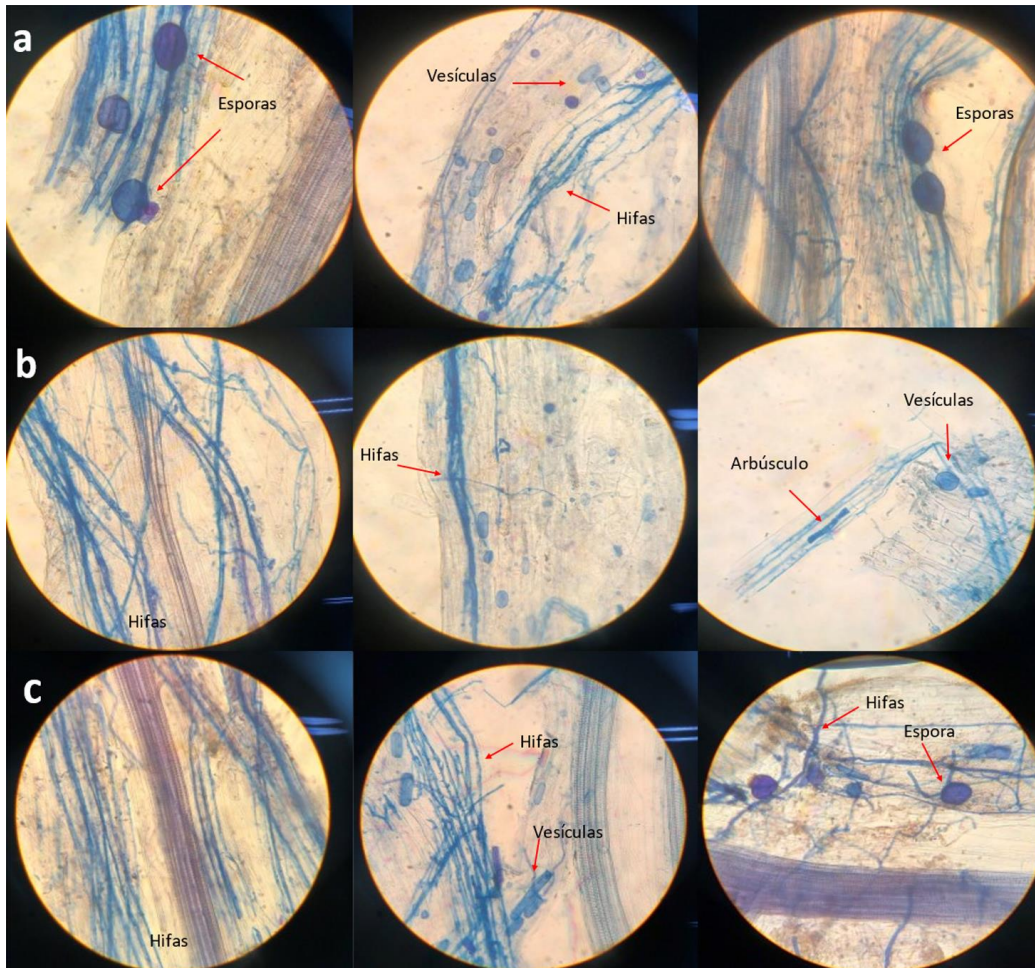


Figura 26. Estructuras de colonización micorrícica con HMC en raíz de fresa var. Festival a 0 (A), 30 (B) y 60 ppm de fósforo (C).

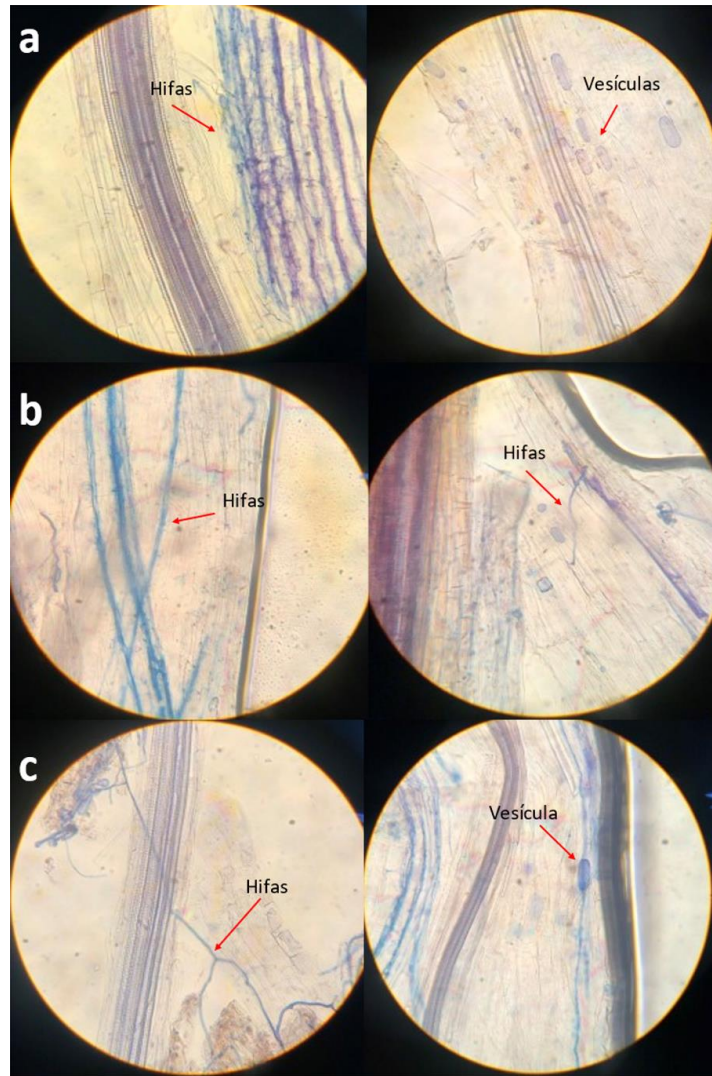


Figura 27. Estructuras de colonización micorrícica en raíz de fresa var. Festival, plantas CTL a 0 (A), 30 (B) y 60 ppm de fósforo (C).

Cuantificación de las esporas por gramo de suelo presentes en las plantas de fresa var. “Festival”

Se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos y los niveles de fósforo (Figura 28). La mayor cantidad de esporas gs^{-1} se presentó para los tratamientos inoculados con los HMS sobre todo en donde se suplementó con 30 y 60 ppm de fósforo, sin embargo, se observó una disminución de esporas cuando no se aplicó fósforo. Por otro lado, en los tratamientos inoculados con el consorcio de HMC no se reportaron diferencias significativas, lo que indicó que no existió relación con los diferentes niveles de fósforo utilizados como lo apoya el análisis factorial al no revelar significancia en la interacción de hongos micorrícicos y los diferentes niveles de fósforo (T*P) pero fue evidente que los HMS indujeron mayor cantidad de esporas por gramo de suelo. Resultados similares fueron observados por Quiñones-Aguilar *et al.* (2020), quienes realizaron un estudio donde evaluaron la eficiencia del uso de cinco consorcios de hongos micorrícicos nativos de plantaciones de *Agave cupreata*, provenientes del Estado de Michoacán colectados en diferentes sitios y un inóculo comercial (INIFAP®), sobre el desarrollo de plantas de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y tuvieron como resultado mayor cantidad de esporas en los tratamientos tratados con los hongos nativos en especial con tres de los cinco consorcios comparándolo con el tratamiento que fue inoculado con el producto comercial.

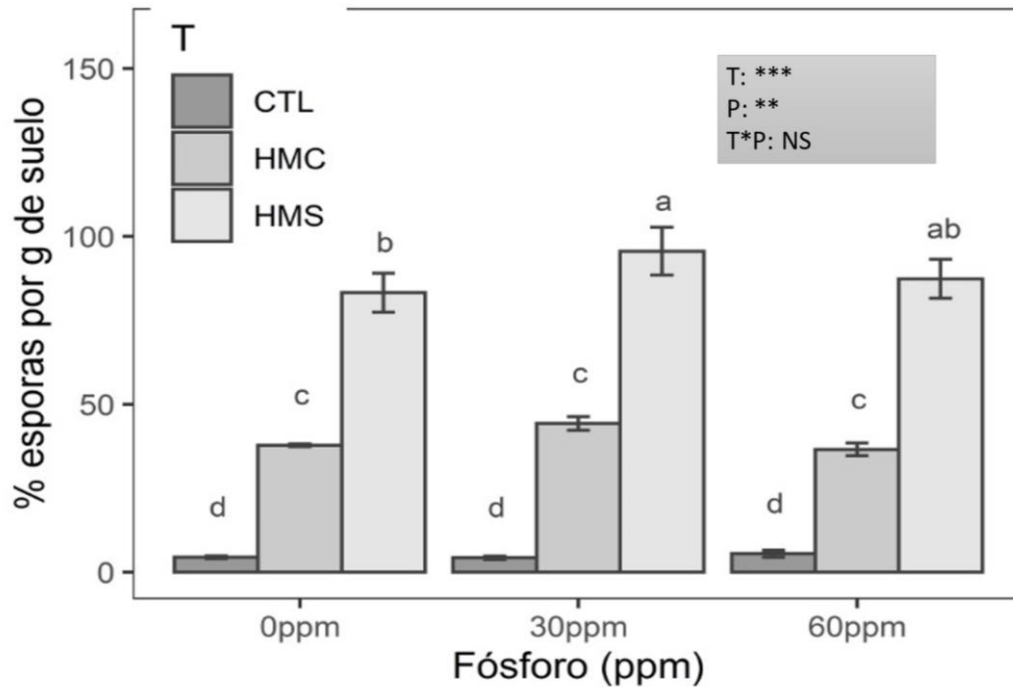


Figura 28. Cuantificación de esporas gs^{-1} de los sustratos de las plantas de fresa var. Festival. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). Las diferencias significativas respecto al ANOVA de dos vías se reportan en columnas T: tratamientos con dos diferentes inóculos micorrícicos, P: niveles de fósforo y T*P: efecto de la interacción de los tratamientos con los diferentes niveles de fósforo. NS= no significativo: $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. HMS: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico silvestre; HMC: plantas inoculadas con el consorcio micorrícico comercial; CTL: plantas sin inóculo micorrícico; 0, 30 y 60: niveles de fósforo en partes por millón (ppm) implementado en los diferentes tratamientos.

VII. CONCLUSIONES

1. Se logró aislar un consorcio nativo de hongos micorrícicos a partir suelo rizosférico de *V. stenophyllum* Stead., en la región de Los Gallineros Cotija en el Estado de Michoacán.
2. Fue posible establecer la relación simbiótica (presencia de vesículas y arbusculos) tanto del consorcio de HMS como del producto orgánico comercial (HMC) con las plantas de fresa var. “Festival” y “Frontera”.
3. La inoculación de HM le otorgo a las plantas de fresa var. Frontera mayor tolerancia frente al ataque del hongo fitopatógeno *Fusarium*, en especial las inoculadas con el consorcio de HMS.
4. La inoculación de HMS, promovió el desarrollo de las plantas de fresa var. “Festival”, al aplicar fertilización fosforada. Los HMS promovieron mayor altura en las plantas y mayor peso en los frutos independientemente de la aplicación de fósforo, sin embargo, para los porcentajes de clorofila y el tamaño de los frutos, los diferentes niveles de fósforo si influyeron. Para el rendimiento los mayores resultados se obtuvieron de la combinación de HMS y 60 ppm de fósforo.
5. La inoculación de HM favoreció la calidad interna de los frutos de fresa. Los valores más altos en cuanto a firmeza y acidez titulable fueron para el tratamiento inoculado con HMS con 60 ppm de fósforo. La inoculación de HMS también aumento el contenido de grados brix en los frutos independientemente del fósforo. La inoculación de HMC promovió el aumento de los compuestos nutraceuticos analizados.

VIII. REFERENCIAS

- Abdel-Aal, M., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal chemistry*, 73(6) 350-354.
- Arias-Mota, R. M., Romero-Fernández, A. J., Bañuelos-Trejo, J. & Cruz-Elizondo, Y. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1747-1757.
- Ávila-Arce, A. & González-Milán, D. J. (2012). La competitividad de la fresa (*Fragaria* spp.) mexicanas en el mercado nacional, regional y de estados unidos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(1), 17-27.
- Aimacaña, C. V. E. (2019). Efecto antibacteriano del extracto etanólico de la fresa (*Fragaria vesca* L.) al 50, 75% Y 100% sobre el *Streptococcus mutans*, estudio *in vitro*. Tesis de Odontóloga. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 63 p.
- Alarcón, A. (2007). Micorriza arbuscular. In: Ferrera-Cerrato, R. & Alarcón, A. *Microbiología Agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta microorganismo*. Ed. Trillas, México. pp: 90-119.
- Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. (2003). Aplicación de fósforo e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y estado nutricional de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. *Terra Latinoamericana*, 21 (1), 91-99.
- Alvarado-Carrillo, M., Diaz-Franco, A., Peña del Río, M. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (3), 513-518.
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia*, octubre-diciembre, 84-90.
- Amatori, S., Alvares-Suarez, J. M., Giampieri, Francesca Gasparrini, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Afrin, S., & Batitino, M. (2016). Polyphenol-rich strawberry

extract (PRSE) show in vitro and in vivo biological activity against invasive breast cancer cells. *Scientific Reports*, 6(1), 1-13.

AOAC INTERNATIONAL (2000). Official methods of analysis of AOAC international. Gaithersburg. Estados Unidos. ISBN 13747.

Aroca, R., Bago, A., Sutka, M., Paz, J.A., Cano, C., Amodeo, G. & Ruíz-Lozano, J.M. (2009). Expression analysis of the first arbuscular mycorrhizal fungi aquaporin described reveals concerted gene expression between salt-stressed and non-stressed mycelium. *MPMI*, 22, 1169-1178.

Astrid, G. G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.

Bautista, J. M., Posadas, L., Urbina, J., Larsen, J. & 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), 695-703

Bárceñas-Santana, D., Guillén-Sánchez, D., Yazmín Basaldua, C., Ramos-García, ML. and Valle de la Paz, M. (2019). Etiology Strawberry dry wilt (*Fragaria spp.*) in Morelos, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 37(3), 454-463.

Begum N., Qin C., Ahanger M. A., Raza S., Khan M. I., Ahmed N., et al. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers Plant Science*, 10:1068. 10.3389/fpls.2019.01068

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

Bravo, A., York, T., Pumplin, N., Mueller, L. A. & Harrison, M. J. (2016). Genes conserved for arbuscular mycorrhizal symbiosis identified through phylogenomics. *Nature Plants*, 2(2), 15208.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, s., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N. & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers Plant Science*. 10:1068.

- Cabralles, E., Toro, M., López, D. (2016). Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico. *Temas Agrarios*, 21 (2): 21-31.
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 3, 409-421.
- Camargo-Ricalde, S. L., Montañó, N. M, De la Rosa-Mera, C. J. & Montañó, A. S. LA. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 7, 3-18.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). «Manual Fresa», Cámara de Comercio de Bogotá - Núcleo Ambiental S.A.S, Bogotá, Colombia.
- Castellanos-Morales, V., Villegas, J., Wendelin, S., Vierheilig, H., Eder, R., and Cárdenas-Navarro, R. 2010. Root colonisation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) at different nitrogen levels. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 90: 1774-1782. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3998>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E. & Reinhardt, D. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. *Frontiers Plant Science*. 9, 1270.
- Cordeiro, E. C. N., Resende, J. T. V., Córdova, K. R. V., Nascimento, D. A., Saggin, J. O. J., Zeist, A. R. and Favaro, R. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi action on the quality of strawberry fruits. *Horticultura Brasileira*, 37: 437-444. Doi <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190412>
- Dell'Acqua A. J., Moyano M. B., Galvan J., Ríos, L. y Paz, C. (2019). Comercialización y competencia del arándano argentino. INTA Ediciones, Argentina. 44 p.
- Delgado-Vargas, F., Sicairos-Medina, L. J., Luna-Mandujan, A. G., López-Angulo, G., Salazar-Salas, N. Y., Vega-García, M. O., Heredia, J. B. & López-Valenzuela, J. A. (2018). Phenolic profiles, antioxidant and antimutagenic

activities of *Solanum Lycopersicum* var. cerasiforme accessions from Mexico, *CyTA - Journal of Food*, 16:1, 715-722.

Delegación SADER Michoacán. (2016). Michoacán como primer productor de berries en el país: SAGARPA Michoacán. Extraído de: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cmichoacan/articulos/michoacan-el-productor-numero-uno-en-berries-en-el-pais-sagarpa-michoacan>

Días, M. S., Cabral, F. A., Henrique, G. P., Soares, L. F. D. and De Barros, S. E. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus doses on coffee growth under a non-sterile soil. *Rev. Caatinga, Mossoró*, 32: 72-80.

Estevão, C. B., Olivera, S. A., Bortoluzzi, B. D., Fiuza, M. D., Semnoti, J. R. J. & Inês, A. Z. (2018). Characterization of Ectomycorrhizal species through molecular biology tools and morphotyping. *Scientia Agricola*, 75, 246-254.

Edger, P.P., Poorten, T.J., VanBuren, R. *et al.* (2019). Origin and evolution of the octoploid strawberry genome. *Nat. Genetics*, 51, 541–547.

Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., Núñez-Escobar, R. & Sandoval-Villa, M. (2011). Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Rev. Chapingo Ser.Hortic.*, 17, 129-138.

Fraire-Cordero, M. L., Yáñez-Morales, M.J., Nieto-Angel, D. y Vázquez-Gálvez, G. (2003). Hongos patógenos en fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21 (3), 285-291.

FAOSTAT. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#home>

García-Rubio, J. C., García-Gonzales de Lena, G. & Ciordia-Ara, M. (2018). *Cultivo de árandano en el norte de España*. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Australia España.

García, S., Pezzani, F., Rodríguez, A. & del Pino, A. (2016). Micorrizas en gramíneas nativas: efecto de la fertilización fosfatada a largo plazo. *Agrociencia Uruguay*, 20(1), 7-16.

- Ganaderia. (2020). <https://www.gardenia.net/plant/vaccinium-ashei>. Citado el 06/07/2020
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
- Gederman, W.T. y Nicolson T.H., (1963). Spores of mycorrhizal endogone species stracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions British Mycological Society*, 46, 23-244.
- Gehring, C. & Bennett, A. (2009). Mycorrhizal fungal–plant–insectinteractions: the importance of a community approach. *Environmental Entomology*, 38, 93–102.
- González, S. (2013). <http://www.svenlandrein.com/mexicocollections/SG484.html>. Citado el 22/09/2021.
- Hernández-Cruz, A., Saldivia-Tejeda, A., Silva-Rojas, H. V., Fuentes-Aragón, D., Nava-Díaz, C., Martínez-Bolaños, L. and Rebollar-Alviter, A. 2020. Evaluation of full-season programs for the management of Fusarium wilt of blackberry caused by a new lineage of the *Fusarium oxysporum* species complex. *Crop Protection*, 134, 1-11.
- InfoAgro (2020). Formas de aplicar fósforo al suelo ¿Cuál es la mejor?. https://www.infoagro.com/abonos/fosforo_suelo.htm
- Jeliazkova, E. and Percival, D. (2003). Effect of drought on ericoid mycorrhizae in wild blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Canadian Journal Plant Science*, 83, 583–586.
- Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V., Huber, C., Brand0, M., Bucerius, SL., Delaux, P - M., Klingl, V., Röpenack - Lahaye, E von., Wang TL *et al.* (2017). Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *eLife* 6: pii: e29107.
- León-López, L., Guzmán-Ortíz, D. L. A., García-Berumen, J. A., Chávez-Marmolejo, C. G. & Peña-Cabriales, J. J. (2014). Consideraciones para mejorar la competitividad de la región “El Bajío” en la producción de nacional de fresa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 673-686.

- Leslie, J. F. and Summerell, B. A., 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell, Iowa, USA, 388 p.
- Lin, C.; Wang, Y.; Liu, M.; Li, Q.; Xiao, W.; Song, X. (2020) Effects of nitrogen deposition and phosphorus addition on arbuscular mycorrhizal fungi of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). *Scientific Reports*, 10, 12260.
- Liu, C., Ravnskov, S., Liu, F., Rubæk, G.H. y Andersen, M.N. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate abiotic stresses in potato plants caused by low phosphorus and deficit irrigation/partial root-zone drying. *J. Agric. Sci.*, 156, 46–58.
- Lutzoni, F., Nowak, M. D., Alfaro, M. E., Reeb, V., Miadlikowska, J., Krog, M., Arnold, A. E., Lewis, L. A., Swofford, D. L., Hibbett, D., Hilu, K., James, T. Y., Quandt, D & Magallón, S. (2018). Contemporaneous radiations of fungi and plants linked to symbiosis. *Nature Communications*, 9, 5451. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07849-9>.
- Meléndez-Hustick, L. (2015). México es el tercer país productor de fresas en el mundo. *Revista Hortalizas*, junio 2015. <https://www.hortalizas.com/cultivos/frutillas-berries/mexico-es-ahora-el-tercer-productor-mas-importante-de-fresas-en-el-mundo/>
- Misiones Online (2017). ¿Conocías los aportes nutricionales de la frutilla?. <https://misionesonline.net/2017/06/25/conocias-los-aportes-nutricionales-la-frutilla/>
- Nam, M. H., Kim, H. S., Park, M. S., Kim, T. I., Lee, E. M. and Kim, H. G. (2017). Damage and potential of fungus gnat as a *Fusarium* vector in the strawberry plants in Korea. *Acta Horticulture*, 1156, 857-861.
- Noda, Y. 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-10.

- Palencia, P., Martínez, F., Oliveira., JA. (2013). Efecto de micorrizas en plantas de fresa cultivadas en sistema de cultivo sin suelo. *Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura*, 32, 13-16.
- Pervin M., Hasnat M. A. and Lim B. O. (2013). Antibacterial and antioxidant activities of *Vaccinium corymbosum* L. leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 3(6), 444-453.
- Pérez, A., Cury, K., & Oviedo, L. (2016). Colonización de micorrizas arbusculares en tres especies de pasturas del departamento de Sucre. *Temas Agrarios*, 21(2), 65-75.
- Peñarrieta, J.M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. y Bravo, J. A. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos, *Revista Boliviana de Química*, 31 (2), 68-81.
- Pío-León, J. F., Delgado-Vargas, F., León-de la Luz, J. L. & Ortega-Rubio, A. (2017). Prioritizing Wild Edible Plants for potential new crops based on Deciduous Forest traditional knowledge by a Rancher community. *Botanical Sciences*, 95(1), 47-5.
- Phillips, J.M. y Hayman, D.S., (1970). Improved procedure of clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycological Society*, 55, 158-161.
- Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G. & López-Pérez, L. (2020). Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(3), 541-554.
- Ramírez-Gómez, M. y Rodríguez, A. (2012). Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV (1), 271-284
- Ramos-Zapata, J. A., Orellana R. and Allen, E. B. (2006). Mycorrhizal dynamics and dependence of *Desmoncus orthacanthos* Martius (Arecaceae), a native palm of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Interciencia*, 31, 364-370.

- Restrepo, A., Cortés, M. & Rojano, B. (2019). Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) fortificada con vitamina E. *DYNA*, 76: 163-175.
- Redecker D., Kodner R. & Graham L.E. (2002). *Palaeglomus grayi* from the Ordovician. *Mycotaxon*, 84:33-37.
- Romagnoli, M.V., Denoia, J., Osso, M; y Estancich, E. (2017). Evaluación de la micorrización y parámetros de rendimiento en un cultivo de soja de segunda, fertilizado e inoculado. *Agromensajes Especia*. Recuperado de: http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/13085/Art03_Agromensajes48_agosto2017.pdf?sequence=2
- Romero, C. A. (2016). *El arándano en Perú y el mundo*. Perú, Lima: Ministerio de agricultura y riego. http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia_plantas/f01-cultivo/el_arandano.pdf
- Romero, G.M. y Suárez, R.E.M. (2017). Emisión de N₂O en cultivos hortícolas y estrategias de mitigación. *Ecosistemas*, 26(1): 79-85.
- Rodríguez, L.C.M. González G.G., Gómez, E.M.G. (2016). Fresa transgénica: importancia, beneficios y avances científicos en México. *Revista* 3(2), Enero – Abril. Universidad Tecnológica de León.
- Sandoval, C. M. (2019). Uso de microorganismos solubilizadores y productores de Acc desaminasa en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*). Tesis de Maestría. Maestría en Agricultura Protegida. Universidad de Guadalajara, México. 83 p.
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de

México. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacion
alCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do) (junio 2021).

Solano-Báez, I. R., De León-García De Alba, C., Valdovinos-Ponce, G., Victoria Silva-Rojas, H. V. y Soto-Rojas, L. (2011). La pigmentación de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) como factor de virulencia en plántulas de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 22, 297-307.

Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M. and Smith, F. A. (2011). Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition. *Plant Physiology*, 156: 1050-1057.

Smith, S. E. y D. J. Read (1997), *Mycorrhizal symbiosis*, California, Academic Press.

Strullu-Derrien, C., Seloss, M., Kenrick P. & Martin, F.M. (2018). The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. *New Phytologist*, 220: 1012-1030.

Svenningsen, N. B., Watts-Williams, S. J., Joner, E. J. *et al.* (2018). Supresión de la actividad de hongos micorrízicos arbusculares por la microbiota del suelo. *ISME J* 12: 1296–1307.

TecnoAgro (2019). Producción de arándano en México. 135. Agosto 2019. <https://tecnoagro.com.mx/no.-135/produccion-de-arandano-en-mexico>

Ted collins tree y landscape. (2019). <https://www.tedcollinst-l.com/blog/vaccinium-corymbosum-northern-highbush-blueberry>. Citado el 06/07/2020

Thirkell, T. J., Cameron, D. D. & Hodge, Angela. (2016). Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant Cell Environ*, 39 (8), 1683- 1690.

Trinidad-Cruz, J. R., Quiñones-Aguilar E. E., Rincón-Enríquez G., López-Pérez L. & Hernández-Cuevas L. V. (2017). Micorrización de *Agave cupreata*: Biocontrol de

- Fusarium oxysporum y promoción del crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 151-169.
- Valerio-Salgado, A., Ayala-Ortega, J. J., Ramos-Lima, M., Lara-Chávez, Ma. B. N., Aguirre-Paleo, S. y Vargas-Sandoval, M. (2019). Ácaros asociados al cultivo de la fresa (*Fragaria* spp.) en cinco municipios Michoacán, México. *Entomología y Aracnología*, 6, 55–61.
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P. & Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105-114.
- Wang, B., & Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16, 299-363.
- Wen, Z., Li, H., Shen, Q., Tang, X., Xiong, C., Li, H. et al. (2019) Tradeoffs among root morphology, exudation and mycorrhizal symbioses for phosphorus-acquisition strategies of 16 crop species. *New Phytologist*, 223: 882–895
- Zhao, H., Li, X., Zhang, Z., Zhao, Y., Yang, J. & Zhu, Y. (2017). Species diversity and drivers of arbuscular mycorrhizal fungal communities in a semi-arid mountain in China. *PeerJ life & Environment*, 5: e4155.
- Zhao, L., Lui, W., Xiong, S. H., Tang, J., Lou, Z. H., Xie, M., & Liao, D. F. (2018). Determination of total flavonoids Contents and Antioxidant Activity of *Ginkgo biloba* Leaf by Near-Infrared Reflectance Method. *International Journal of Analytical Chemistry*, <https://doi.org/10.1038/srep30917>