



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



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

**“Calidad y Rendimiento de Fresa Inoculada con Hongos
Micorrízicos Arbusculares”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

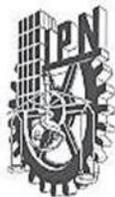
LORENA FABIOLA SORIA MARTÍNEZ

DIRECTORES:

DRA. HORTENCIA GABRIELA MENA VIOLANTE

DR. GILBERTO VÁZQUEZ GÁLVEZ

JIQUILPAN MICH., DICIEMBRE DEL 2012.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Michoacán siendo las 10:00 horas del día 12 del mes de Noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

"Calidad y rendimiento de fresa inoculada con Hongos Micorrízicos arbusculares."

<u>Soria</u>	<u>Martínez</u>	<u>Lorena Fabiola</u>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre
Con registro:		
B	1	0 1 4 9 9

aspirante de:

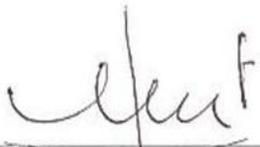
Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA
Directores de tesis



Dra. Hortencia Gabriela Mena Violante



Dr. Gilberto Vázquez Gálvez



Dr. José Venegas González



Dra. María Valentina Angoa Pérez



Dr. Jorge Molina Torres



Dr. Guillermo Herrera Arreola.
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES.



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
Instituto Politécnico Nacional
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR - IPN - U- MICH.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Jiquilpan de Juárez Michoacán el día 01 del mes de Diciembre del año 2012, el (la) que suscribe LORENA FABIOLA SORIA MARTÍNEZ alumno (a) del Programa de **Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable** con número de registro B101499, adscrito a **C.I.I.D.I.R. I.P.N. Unidad Michoacán**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Hortencia Gabriela Mena Violante y cede los derechos del trabajo intitulado Calidad y Rendimiento de Fresa Inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares, 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 del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección (hmena@ipn.mx, smile_fabi17@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

L. FABIOLA SORIA M.
LORENA FABIOLA SORIA MARTÍNEZ

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL por haber brindado el apoyo económico mediante la beca institucional durante el periodo de duración de la Maestría. También al CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA por el financiamiento otorgado a través del proyecto de ciencia básica 131769. Así como también a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del IPN, por haberme otorgado apoyo económico a través del Programa Institucional para la Formación de Investigadores (PIFI).

Con respeto y admiración a los respetables miembros del Comité revisor:

- ✓ Dra. Hortencia Gabriela Mena Violante

- ✓ Dr. Gilberto Vázquez Gálvez

- ✓ Dr. Jorge Molina Torres

- ✓ Dra. María Valentina Angoa Pérez

- ✓ Dr. José Venegas González

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A la doctora Hortencia Gabriela Mena Violante, por todo el apoyo brindado durante el recorrido de la maestría. Nunca olvidaré que fue pieza clave para mi formación como persona, como profesionalista y sobre todo como ser humano. Mis respetos para usted en cada momento de mi existencia, es un modelo a seguir.
- ✓ Al doctor Gilberto Vázquez Gálvez, ya que sin usted definitivamente las cosas se hubiesen complicado, muchísimas gracias por ser nuestro profesor y amigo, confidente de algunos detalles y una excelente persona. Gracias por la comprensión y confianza brindada.
- ✓ A la doctora Ma. Valentina Angoa Pérez, por ayudarme en todo momento que la necesité. Gracias por ser humana, cordial, crítica y sobre todo respetuosa, es tesoro.
- ✓ Al doctor José Venegas González, gracias por sus sugerencias en la maestría, por sus consejos como amigo, por ser una persona humilde y por levantarme el ánimo en todo momento.
- ✓ Al doctor Jorge Molina, por el acceso a su laboratorio, por su amabilidad y por la paciencia brindada, gracias en todo momento.
- ✓ A Enrique Ramírez, por tan gran apoyo incondicional en el CINVESTAV, a su esposa Susi y a sus nenas Marthita y María, gracias por todo.
- ✓ A Ivan Ilich Morales Manzo, por su ayuda en el laboratorio, por su atención brindada y por ser un gran humano, gracias por invertir tu tiempo en esta investigación.

- ✓ Al doctor Francisco Covarrubias Villa, gracias por ponerme los pies sobre la tierra, cuando andaba volando sin darme cuenta que ni siquiera alas poseía. Gracias por enseñarme a ver el mundo desde otra perspectiva. Gracias por transformar mi realidad y mi manera de pensar. Me quedo satisfecha con la maestría y usted fue pieza clave para esto. Mis respetos para usted por el resto de mi vida y en el más allá.

- ✓ A María Alejandra González Urías, sin ti no sé que hubiera pasado, realmente fuiste mano derecha de este trabajo, gracias por enseñarme cosas de la vida.

- ✓ A Erendida Jazmín Mendellín, por ser la mejor laboratorista, definitivamente sin tí me hubiese vuelto loca ante las circunstancias de ese tiempo en el laboratorio.

- ✓ Gracias a todo al personal, maestros y compañeros del CIIDIR IPN, administrativos, personal general gracias a todos y a cada uno por su apoyo.

DEDICATORIA

A toda mi familia, en especial a:

- ✓ PSAV.

- ✓ Lorena Martínez Silva.

- ✓ Alejandra María, Guadalupe Daniela, Santiago Rolando y Juan Pablo Soria Martínez.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
Capítulo I. INTRODUCCIÓN	1
1. LA FRESA	4
1.1 Características botánicas	5
1.1.1 Características agroecológicas de la fresa	7
1.1.2 Variedades de fresa Albion y Jacona	7
1.1.3 Producción, rendimiento y precio de fresa en Michoacán	8
1.1.4 Importancia del cultivo de fresa	11
1.1.5 Importancia de la calidad del fruto de fresa	11
1.1.6 Calidad nutricional y nutracéutica	15
2. PRODUCTOS NUTRACÉUTICOS Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES	16
2.1 Radicales libres.....	17
2.2 Estrés oxidativo.....	18
2.3 Antioxidantes	18
3. LOS COMPUESTOS FENÓLICOS COMO NUTRACÉUTICOS	20
3.1 Los flavonoides	21
3.2 Las antocianinas	22
4. LAS MICORRIZAS	25
4.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)	26
4.2 Clasificación taxonómica de los HMA	27
4.3 Reconocimiento entre la planta y el hongo micorrízico arbuscular	27
4.4 Desarrollo de la simbiosis	29

4.5 Ciclo de vida de los HMA	30
4.6 Beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares.....	31
5. JUSTIFICACIÓN	33
5.1 OBJETIVOS.....	35
Objetivo General.....	35
Objetivos Específicos	35
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.1 Material biológico	36
2.2 Experimento en invernadero	37
2.3 Variables de crecimiento.....	38
2.4 Variables reproductivas.....	38
2.4.1 Rendimiento.....	38
2.4.2 Peso promedio.....	39
2.4.3 Tamaño.....	39
2.5 Calidad interna.....	39
2.5.1 °Brix, acidez titulable y pH	39
2.5.2 Contenido nutrimental.....	40
2.5.3 Vitamina C	40
2.5.4 Azúcares reductores	40
2.6 Calidad nutracéutica	41
2.6.1 Compuestos fenólicos	41
2.6.2 Flavonoides	42
2.6.3 Antocianinas	43
2.7 Análisis estadístico.....	44
Capítulo III. RESULTADOS	45
3.1 Variables de crecimiento.....	45
3.2 Variables reproductivas.....	54
3.3 Calidad interna.....	57

Capítulo IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	66
4.1 Variables de crecimiento.....	66
4.2 Variables reproductivas.....	70
4.3 Calidad interna.....	71
4.4 CONCLUSIONES	77
Capítulo V. PERSPECTIVAS.....	78
Capítulo VI. LITERATURA CITADA	79
ANEXOS: Fotografías del trabajo experimental	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de fresa y sus componentes	6
Figura 2. Estado de maduración de frutos de fresa.....	13
Figura 3. Mecanismo de acción de un antioxidante	19
Figura 4. Estructura química del fenol.....	20
Figura 5. Estructura química de los flavonoides.....	22
Figura 6. Estructura química básica de una antocianidina	23
Figura 7. Estructura química de una antocianina	23
Figura 8. Ciclo de vida de los HMA.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Representación del Estado de Michoacán como principal productor de fresa, desde 1980.	8
Tabla 2. Representación del incremento anual de la producción de fresa en Michoacán de los últimos 5 años (2006 al 2011).....	9
Tabla 3. Rendimiento de fresa por hectárea en Michoacán de los años del 2006 al 2011 en comparación con Baja California.....	10
Tabla 4. Representación anual del costo de fresa por tonelada en Michoacán de los años del 2006 al 2011.....	10
Tabla 5. Clasificación de la fresa por su tamaño.....	14
Tabla 6. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el área foliar.....	46
Tabla 7. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el número de hojas.....	47
Tabla 8. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el tamaño de hoja.....	48
Tabla 9. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso fresco de plantas.....	49

Tabla 10. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso seco de las plantas.....	51
Tabla 11. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido nutrimental en hojas.	52
Tabla 12. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido nutrimental en hojas.	53
Tabla 13. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el rendimiento y número de frutos.....	55
Tabla 14. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso promedio de frutos, diámetro ecuatorial y polar.	56
Tabla 15. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre la acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST), relación SST/AT y pH del fruto.	58
Tabla 16. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre la Vitamina C y Azúcares reductores.	59
Tabla 17. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos en fruto.	61
Tabla 18. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de N, P, K, Ca y Mg en fruto.	63

Tabla 19. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na en fruto. 65

RESUMEN

Las micorrizas son relaciones simbióticas que se llevan a cabo entre hongos pertenecientes al orden de los *Glomales* y las raíces de más del 80 % de las plantas terrestres, resultando ambos organismos beneficiados por esta interacción. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), proveen diferentes beneficios a la planta como es el mejorar el estado nutrimental de la misma, la tolerancia al estrés hídrico, la defensa frente a patógenos, un mayor rendimiento en determinados cultivos, y además, un mejoramiento en la calidad de los frutos entre otros. Los HMA a cambio reciben por parte de la planta fotosintatos indispensables para su supervivencia. Debido al potencial biotecnológico de los HMA para mejorar las prácticas agrícolas, se procedió a ensayar el uso de los mismos en el cultivo de fresa en condiciones de invernadero, ya que este es un cultivo de relevancia económica y social a nivel regional y nacional, es preciso aplicar estrategias biotecnológicas, para resolver algunos problemas que enfrenta su producción, entre los que destacan, la contaminación ambiental y alto costo de producción por uso indiscriminado de agroquímicos. Adicionalmente, es importante resaltar que el cultivo de la fresa es dependiente de plántulas extranjeras, lo que trae como consecuencia un alto costo de producción por el pago de regalías, por lo que es conveniente la introducción de plántulas mexicanas como la variedad Jacona, que posee características prometedoras y relevantes para la producción. El objetivo de este trabajo fue, determinar el efecto de los HMA sobre variables agronómicas y características de calidad de frutos de fresa.

Se utilizaron plántulas de *Fragaria x annanassa Duch.* de la variedad extranjera Albion y de la variedad mexicana Jacona, las cuales fueron inoculadas con un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) o con una sola especie de HMA (*G. clarum*), con la finalidad de evaluar su efecto sobre variables biométricas (área foliar, biomasa y rendimiento), calidad externa (e.g. tamaño del fruto) y calidad interna (e.g. pH, °Brix, acidez titulable, vitamina C y antocianinas) de frutos de fresa.

La inoculación con *G. clarum* y el Consorcio promovió superioridad estadística en la mayoría de las características evaluadas con respecto al control. Los resultados mostraron que la variedad Jacona es competitiva en relación a la variedad Albion. Cabe destacar que hasta donde se tiene conocimiento, este es el primer trabajo, en el cual se estudia el efecto de los HMA sobre características de calidad interna y externa de frutos de fresa, mismas que pueden ser explotadas como un valor agregado.

ABSTRACT

Mycorrhizae are symbiotic relationships which take place between fungi belonging to the order of Glomales and the roots of over 80 % of all terrestrial plant, both organisms receive a benefit from this as improving plant nutrient status, tolerance to water stress, defense against pathogens, higher yield in certain crops, and improvement in the product quality, among others. AMF get photosynthates from the plant, needed for their survival. Because of the biotechnological potential of AMF for improving agricultural practices, its application in strawberry was assayed under greenhouse conditions. Since strawberry is a crop of social and economic relevance at both regional and national levels, it is necessary to look for biotechnological strategies, to solve some problems faced during its production, such as environmental pollution and high production cost by indiscriminate use of agrochemicals. Besides, it is worth pointing out that strawberry production depends on getting foreign seedlings, bringing higher cost of production for royalty payments. Thus, it is convenient the use of Mexican seedlings, such as Jacona, which poses promising characteristics which are relevant for production. The objective of this work was to determine the effect of AMF on agronomic variables and fruit quality characteristics of strawberry. Seedlings of *Fragaria x annanassa* Duch of the foreign variety Albion and the Mexican variety Jacona, which were inoculated with a consortium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) or with one species of AMF (*G. clarum*), in order to evaluate its effect on biometric parameters (area foliar, biomass and yield), external quality (e.g. fruit size) and internal quality (e.g. pH, °Brix, titratable acidity, vitamin C y anthocyanins) of strawberry fruits. Inoculation with *G. clarum* and the consortium promoted statistical superiority in most of the evaluated characteristics. The results showed that Jacona variety was competitive respect to Albion variety. Until our knowledge, this is the first report of the effect of AMF on external and internal characteristics of strawberry fruit quality, which could be exploited as an added value.

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

México ocupa una posición importante en la producción de fresas a nivel mundial y Michoacán es el estado que ocupa el primer lugar como productor a nivel nacional (SAGARPA, 2009).

El cultivo de fresa, genera empleos directos e indirectos en el Estado y en el País. La fruta es de exportación y contribuye a la entrada de divisas, teniendo por ello, una importancia económica considerable. La fresa es un fruto considerado de “excelencia” por sus características organolépticas para el público en general, y por ser un fruto completo en cuanto a su composición nutrimental (lípidos, proteínas, carbohidratos, vitaminas y fibra dietética) y mineral (Ca, Fe, Mg, K y Na) (CONAFRE, 2007). Para ser comercializado, el fruto debe cumplir con parámetros de calidad externa (color, tamaño, firmeza) e interna (pH, sólidos solubles, acidez titulable) (NMX-FF-062-SCFI-2001, NMX-FF-062-SCFI-2002) (CONAFRESA, 2011).

Por otro lado, es destacable la importancia que comienzan a tener las frutas y las verduras por parte de los consumidores, al estar concientes de la estrecha relación que existe entre la buena alimentación y la prevención de enfermedades, la fresa resulta ser un fruto prometedor ante esta situación, debido a su composición “nutracéutica (compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas)”, que poseen actividad antioxidante (Kuskoski *et al.*, 2004; Tulipani *et al.*, 2008), relacionada con la disminución y prevención de ciertas enfermedades crónicas (diabetes, hipertensión arterial, obesidad) y degenerativas (*e.g.* cáncer) (Basu y Rhone, 2010).

La composición nutracéutica y mejorada puede ser aprovechada para darle un valor agregado a la frutilla mexicana, y podría exportarse a mercados internacionales, hecho que beneficiaría a la cadena productora de la fresa a nivel nacional.

Sin embargo, a pesar de las virtudes del cultivo de fresa, en México se cuenta con las siguientes problemáticas: a) Se depende de plántulas extranjeras, lo cual se traduce en un alto costo de producción por concepto de importación de plántula y por el pago de “regalías”. b) El costo e impacto ambiental ocasionado por el uso de agroquímicos de manera irracional en el cultivo de fresa.

Por lo antes mencionado, resulta favorable hacer uso de plántulas mexicanas tales como la variedad Jacona liberada en el 2010 por el Colegio de Posgraduados, ya que trae consigo beneficios como la disminución del costo por plántula y competitividad (rendimiento) con respecto a las variedades importadas y de mayor uso en México; sin embargo, a pesar de lo que prometen, es preciso conocer su potencial en calidad de frutos para su futura promoción ante los productos freseros mexicanos.

Al mismo tiempo se propone hacer uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), para contribuir al desarrollo sustentable del cultivo, ya que estos microorganismos se asocian al 80 % de las plantas, logrando una simbiosis mutualista y proporcionando múltiples beneficios en diferentes cultivos de interés agrícola, tales como el favorecimiento de la nutrición vegetal (Alarcón *et al.*, 2000; Zepeda *et al.*, 2010), el incremento de la tolerancia al estrés (Kaya *et al.*, 2003; Zepeda *et al.*, 2010; Harris *et al.*, 2009), el aumento en la productividad agrícola (Díaz y Garza, 2007), la estabilidad de los suelos (Guerra, 2008), la disminución del ataque patogénico (Rodríguez *et al.*, 2006) y el mejoramiento de productos finales (Mena *et al.*, 2006).

El efecto de los HMA sobre la acumulación de sustancias de pigmentación, es de relevancia, ya que podría dar un valor agregado a los frutos de fresa, pues ha sido bien documentada la importancia que presentan ciertas sustancias (compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas) ante la prevención de ciertas enfermedades crónicas (obesidad, hipertensión arterial, diabetes) y degenerativas (algunos tipos de cáncer) (Salinas *et al.*, 2009).

La manera en la cual ciertas sustancias fotosintéticas (Compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas) ejercen un efecto ante la prevención y control de ciertos padecimientos en la salud, es debido a su poder antioxidante, el cual estabiliza las reacciones oxido-reducción. Cabe señalar que la oxidación es un fenómeno vital para la salud, sin embargo, también genera problemas que deterioran el bienestar de la salud (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Debido a la importancia del cultivo de la fresa y al impacto benéfico que han demostrado los HMA en diferentes cultivos, es necesario poner a prueba las ventajas que se pudiesen generar al ser aplicados en la producción de fresa.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la inoculación con HMA sobre el desarrollo, productividad y calidad de frutos de fresa mexicana (variedad Jacona) y extranjera (variedad Albion).

Es de importancia resaltar que hasta donde se sabe, este es el primer reporte del efecto de los HMA sobre la producción y calidad externa e interna del cultivo de fresa, obteniéndose sin lugar a duda resultados alentadores.

1. LA FRESA

Historia

La llegada del cultivo de fresa a México se remonta a 1888, al Estado de Guanajuato y exclusivamente a Irapuato, donde llegaron variedades procedentes de Lyon Francia, las cuales fueron utilizadas únicamente para la producción y consumo interno del país. Fue a mediados del siglo pasado, cuando se instaló la primera congeladora en el estado, con el objetivo de exportar la fruta a Estados Unidos. A finales de los años cincuenta se hicieron las primeras exportaciones del fruto en fresco a los Estados Unidos, pero debido a varios problemas que se presentaron por la inadecuada manipulación y transportación del fruto, se optó por la transformación del fruto en el país.

Alrededor de 1970, Michoacán ocupó el primer lugar en la superficie sembrada y producción del fruto. La industria en Zamora creció rápidamente y para 1974, ya existían alrededor de 33 congeladoras. La superficie del cultivo plantada en Michoacán fue creciendo considerablemente debido al apoyo del gobierno y el apoyo de las empresas a pequeños productores (Amador, 2008).

La planta de fresa (*Fragaria X ananassa Duch.*) es un híbrido, que resultó del cruzamiento entre *Fragaria virginiana Duch* y *Fragaria chiloensis*. La primera es originaria del norte de América (Estados Unidos) y la segunda del sur de América (Chile). Este híbrido reemplazó a *Fragaria vesca*, debido a que presentaba mejor calidad del fruto. La fresa pertenece a la familia de las *Rosáceas* y al género *Fragaria*, es una planta herbácea, estolonífera, perenne y de vida productiva corta (Joublan y Vergara 2003).

1.1 Características botánicas

La planta de fresa se considera perenne, debido a la generación de estolones que produce durante su ciclo de vida. Los cultivares de fresa se clasifican en tres grupos: de día corto, de día largo y de día neutro. La floración de los dos primeros grupos se induce por un fotoperiodo determinado, mientras que en el tercer grupo no interviene el factor fotoperiodo sobre la floración de las mismas (Sánchez, 2008).

El fruto de fresa es un fruto falso, ya que se considera al fruto la parte carnosa, cuando en realidad el verdadero fruto son las semillas amarillas llamadas aquenios (Sánchez, 2008).

Las hojas son compuestas, trifoliadas, de color verde oscuro y brillantes, bordes aserrados y con la cara superior pubescente. Presentan grandes cantidades de estomas por lo que son susceptibles a estrés hídrico. Las flores son perfectas, hermafroditas y están constituidas por cinco pétalos ovales y de color blanco, contienen alrededor de 25 estambres y cientos de pistilos.

La corona es un tallo corto y engrosado que constituye el eje principal de crecimiento, tiene forma de cilindro con un diámetro de 2 a 3 cm de longitud, del que emergen hojas en los nudos y una yema en la axila de cada hoja. Estas yemas pueden estar en estado vegetativo donde la yema evolucionará a corona o estolón, o en estado reproductivo floral, donde la yema evolucionará en un racimo floral. La yema terminal en estado vegetativo, siempre formará entrenudos muy cortos. Las yemas axilares, en cambio, pueden formar coronas laterales o estolones, tallos superficiales de crecimiento horizontal, de longitud y tamaño variable. En su estructura anatómica, es un verdadero tallo con tejidos especializados en la conducción de nutrientes y moléculas que serán asimiladas. Por ello, el estolón sirve de sostén para las plantas hijas en sus primeros estados de crecimiento (Coba, 2009).

El sistema radical de la planta de fresa, es fasciculado, compuesto de raíces y raicillas, las cuales se desarrollan en óptimas condiciones a una profundidad de 2-3 metros, sin embargo se encuentran en los primeros 25 cm del suelo el 90 % de ellas. La profundidad de las raicillas, dependen de las condiciones patógenas y edáficas del suelo (Coba, 2009).

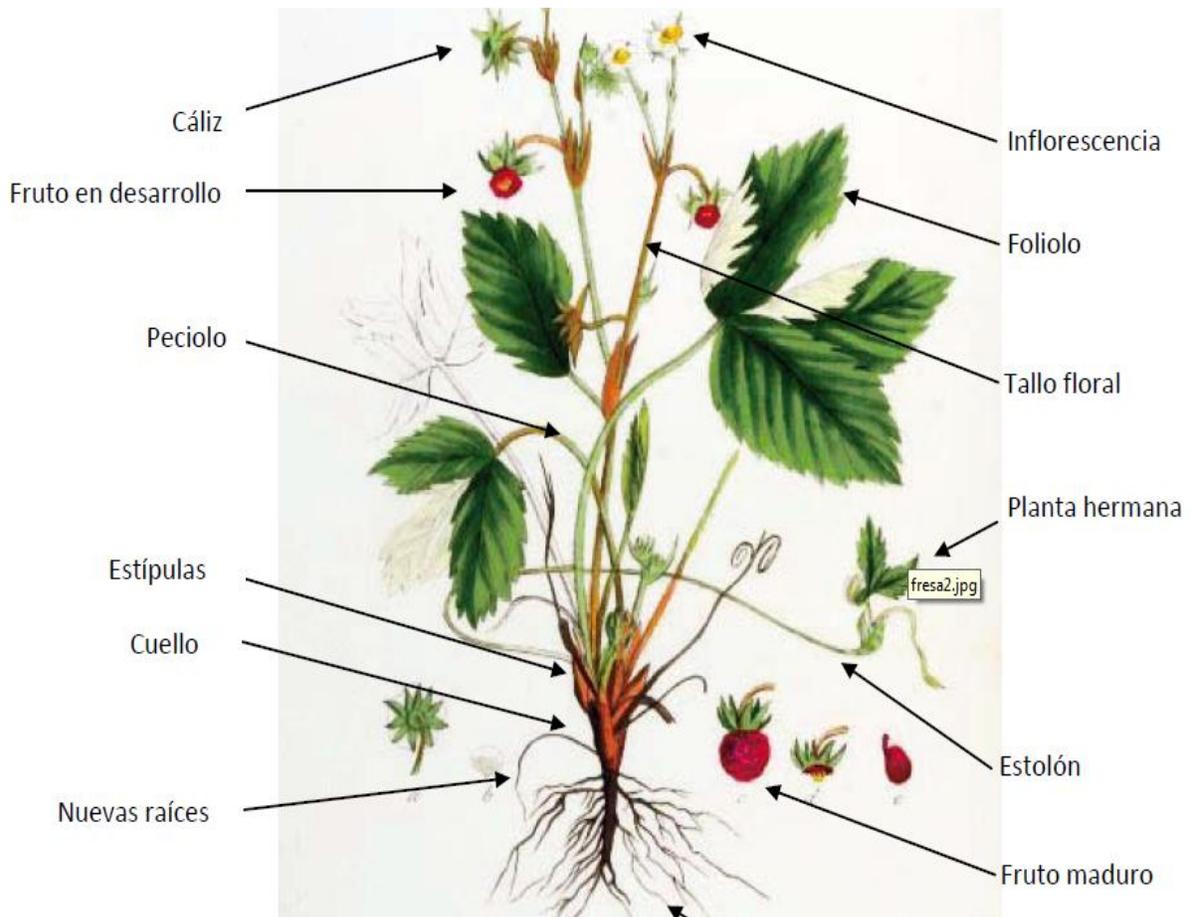


Figura 1. Planta de fresa y sus componentes. Imagen tomada de Kops y van Hall, (1844).

1.1.1 Características agroecológicas de la fresa

Es termo y fotoperiódica, por lo que su crecimiento depende de condiciones de luz y temperatura. Las temperaturas elevadas y los días largos (mayores a 12 h) favorecen el crecimiento vegetal abundante; siendo lo contrario con las bajas temperaturas y los días cortos, que favorecen la floración. Las zonas óptimas para la producción de la fruta se encuentran entre los 1,300 y 2,000 msnm. La temperatura apropiada para la producción del fruto es de 14 °C, aunque se adapta bien a los 10 y 20 °C (SAGARPA, 2012).

1.1.2 Variedades de fresa Albion y Jacona

De la Universidad de California (Estados Unidos), se importa la variedad Albion y es la segunda variedad en importancia de dicha Universidad, es precoz y los productores la catalogan como muy buena. Esta variedad es de reciente introducción a México, ya que se conoció apenas en el 2006 y tiene una demanda ascendente. Su fruta es de muy buena calidad, tanto para exportación como para el mercado nacional. La planta madre produce en promedio unas 50 hijas por planta en vivero (CONAFRE, 2007).

Las principales características de esta variedad son las siguientes: excepcional calidad organoléptica del fruto y excepcional sabor, alta resistencia a condiciones meteorológicas adversas y enfermedades (antracnosis). Su principal característica es su excepcional calidad de fruta, tanto por tamaño como por sabor y firmeza, es de muy fácil recolección y aguanta más en estado de poscosecha (EUROSEMILLAS, 2009).

La variedad de fresa mexicana Jacona pertenece al Colegio de Postgraduados, su número de registro provisional es 1917 FRE 014, el número de registro definitivo es 150307/C FRE 002 070807 y el solicitante es el Colegio de Postgraduados-Dr. Jorge Rodríguez Alcazar ante el catálogo nacional de variedades vegetales en el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SAGARPA, 2010).

1.1.3 Producción, rendimiento y precio de fresa en Michoacán

Michoacán ocupa el primer lugar en la producción de fresa a nivel nacional desde hace varias décadas, según la SIAP (2012), en 1980 ya lo ocupaba (Tabla 1), al presentar una producción de 57,117.00 toneladas (ton) superiores a las 15,379.00 ton de fruto reportadas por el Estado de Guanajuato, el cual había sido el estado líder en la producción del fruto desde la llegada del cultivo al país (SIAP, 2012).

Tabla 1. Representación del Estado de Michoacán como principal productor de fresa, desde 1980.

Año	Estado	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción ton
1980	Guanajuato	1,948.00	1,914.00	15,379.00
	Michoacán	3,768.00	3,743.00	57,117.00
1985	Guanajuato	2,276.00	2,137.00	15,022.00
	Michoacán	1,963.00	1,963.00	37,297.00
1990	Guanajuato	2,132.00	1,513.00	26,999.00
	Michoacán	3,281.00	3,111.00	68,980.00
1995	Guanajuato	3,437.00	2,254.00	20,178.00
	Michoacán	3,807.00	3,807.00	73,198.00
2000	Guanajuato	2,297.00	1,742.00	22,606.10
	Michoacán	3,732.35	3,718.31	77,432.80
2005	Guanajuato	1,064.00	1,064.00	20,257.39
	Michoacán	2,664.13	2,664.13	69,698.97
2010	Guanajuato	1,025.01	1,025.01	16,098.68
	Michoacán	3,522.00	3,252.00	113,197.37

Tabla realizada con datos tomados de la SIAP, 2012.

Michoacán produce alrededor del 50 % de la producción nacional de fresa, ya que en el año 2011 alcanzó una producción de 114,170.72 ton de un total de 228, 899.59 ton producidas en el país. Las tendencias de la producción del cultivo de fresa en Michoacán han incrementado en los últimos años, según datos presentados por la SIAP (Tabla 2) (SIAP, 2012).

Tabla 2. Representación del incremento anual de la producción de fresa en Michoacán de los últimos 5 años (2006 al 2011).

Año	Producción de fresa (ton)
2006	80,951.53
2007	89,095.30
2008	106,905.85
2009	114,784.00
2010	113,193.37
2011	114,170.72

Tabla realizada con datos tomados de la SIAP, 2012.

El rendimiento de fresa en Michoacán medido en toneladas por hectárea, ha mejorado en los últimos años (Tabla 3), sin embargo, se encuentra inferior al rendimiento reportado por el Estado de Baja California, por lo que se deberían aplicar tecnologías que optimicen el rendimiento de la fruta por hectárea en el Estado (SIAP, 2012).

Tabla 3. Rendimiento de fresa por hectárea en Michoacán de los años del 2006 al 2011 en comparación con Baja California.

Rendimiento de fruto de fresa		
Año	Michoacán (ton/Ha)	Baja California (ton/Ha)
2006	25.97	47.65
2007	28.38	35.60
2008	33.25	51.96
2009	32.23	53.20
2010	34.80	56.96
2011	34.07	46.70

Tabla realizada con datos tomados de la SIAP, 2012.

El precio por tonelada de fruta ha incrementado en los últimos años (Tabla 4), lo que ayuda a la rentabilidad económica del cultivo.

Tabla 4. Representación anual del costo de fresa por tonelada en Michoacán de los años del 2006 al 2011.

Año	Precio por tonelada de fresa (\$)
2006	5,322.16
2007	6,169.35
2008	5,961.02
2009	5,819.91
2010	6,118.18
2011	8,715.17

Tabla realizada con datos tomados de la SIAP, 2012.

1.1.4 Importancia del cultivo de fresa

La producción de fresa en México y en Michoacán se relaciona con la exportación de frutos a mercados internacionales, principalmente a los de Estados Unidos, lo que genera la entrada de divisas al país por concepto de exportación. Las divisas van en ascenso, según datos de la SIAP 2012, donde reportan 15,459 mil dólares para Enero del 2009 y 18,846 mil dólares para Enero del 2010 por el mismo concepto de exportación (SIAP, 2012*).

En Michoacán se cultivan diversas variedades de fresa, siempre y cuando sean adecuadas para la situación geográfica y climática de las regiones productoras del fruto en el país, también se considera para la importación, la resistencia de las variedades a patógenos y enfermedades, así como algunos parámetros de calidad del fruto que son determinados por la variedad como son: el sabor, el color y el tamaño, ya que de ello depende la rentabilidad económica del cultivo (Ramírez Padrón, 2010).

El cultivo de fresa ocupa el segundo lugar en importancia económica entre las hortalizas que se cultivan en Michoacán (López* *et al.*, 2005). Sin embargo, es un cultivo que depende de plántulas de fresa provenientes de diferentes universidades extranjeras, principalmente de la Universidad de California y de la Universidad de Florida, las cuales han incrementado los costos de producción y el pago de regalías, encareciendo la producción del cultivo en el país (Martínez *et al.*, 2008).

1.1.5 Importancia de la calidad del fruto de fresa

La calidad esta definida como el cumplimiento de reglas y requisitos que se le demandan a un producto, los cuales son regulados a través de normas, tal como la norma MMX-CC-9001-IMNC-2008 o ISO 9001:2008 que especifica los requisitos de gestión de la calidad, demostrando su capacidad para proporcionar regularmente productos que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables y, aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación

eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables (IMNC, 2008).

La calidad es la percepción del conjunto de atributos de un producto, los cuales son evaluados constantemente en forma subjetiva y objetiva por el consumidor. Los atributos de un producto, son procesados por la información recogida por la vista, olor y tacto e instantáneamente lo compara con experiencias pasadas y con aromas, texturas y sabores almacenados en la memoria. En el óptimo manejo y cuidado de los atributos de frutas y hortalizas, radica la calidad y en ella la aceptación o el rechazo de las mismas (FAO, 2012).

Una de las normas de calidad que debe cumplir el fruto de fresa para el consumo en fresco en México, es la norma **NMX-FF-062-SCFI-2002**, la cual menciona las especificaciones mínimas de calidad que deben cumplir los frutos y se mencionan a continuación: Estar sanas y de aspecto fresco; estar enteras y bien desarrolladas; estar limpias, exentas de material extraño visible; ser de forma, sabor y olor característico de la variedad; tener consistencia firme; tener pedúnculo con una longitud máxima de 1,5 cm antes del envase; estar prácticamente exentas de magulladuras, exentas de daños por sol, exentas de polvo, tierra o materia orgánica; exentas de daños causados por plagas; libres de descomposición, pudrición y moho causado por microorganismos; estar exentas de daños por refrigeración y variaciones en la temperatura; estar exentas de humedad, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica (SAGARPA, 2012).

La madurez

La madurez es el punto óptimo para la cosecha, al alcanzarse el punto máximo de crecimiento de los frutos y almacenamiento de los nutrientes necesarios dentro de los mismos, para continuar con el proceso de maduración y con ello, lograr su madurez de consumo (SAGARPA, 2012).

La coloración

El color determina la cosecha y se debe realizar cuando los frutos presenten como máximo el 50 % de su superficie una coloración roja tenue o rosa, o en su caso considerar los requisitos de mercados destinatarios (Figura 2) (SAGARPA, 2012).

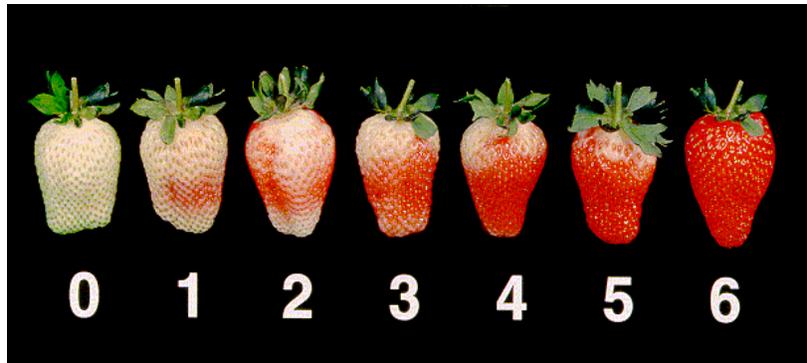


Figura 2. Estado de maduración de frutos de fresa. Imagen tomada de NMX-FF-062-SCFI-2002 (SAGARPA, 2012).

La calidad de frutos además de cumplir con los requisitos mínimos anteriormente mencionados, deben cumplir con las especificaciones de calidad y tolerancia para cada categoría.

°Brix

Los azúcares que se encuentran principalmente en el fruto de fresa son sacarosa, glucosa y fructuosa, que en conjunto representan el 99 % del total de los azúcares de las frutas maduras. Así mismo se encuentran la ribosa, arabinosa, xilosa, manosa y galactosa. Las fresas son aceptables con un contenido de sólidos solubles mínimo de 7 °Brix (Ramirez, 2011).

Acidez titulable

El ácido cítrico es el ácido orgánico principal contenido en el fruto de fresa y el ácido ascórbico es la forma predominante de la vitamina C, la concentración de éste ácido varía entre genotipos y es relativamente más alto en frutos maduros. Se aceptan las fresas con una acidez titulable de 0.8 % como valor máximo (Ramirez, 2011).

El tamaño

El tamaño de las fresas se determina por el diámetro ecuatorial, entre mayor sea el diámetro de las fresas mayor es su calidad, siendo el tamaño A el que mejor calidad presenta (Tabla 5) (SAGARPA, 2012).

Tabla 5. Clasificación de la fresa por su tamaño.

Tamaño	Intervalos de diámetro ecuatorial (cm)		
	A	3,2	a
B	2,6	a	3,1
C	2,0	a	2,6
D	1,6	a	1,6

Datos tomados de SAGARPA, 2012.

1.1.6 Calidad nutricional y nutracéutica

Las características nutricionales del fruto de fresa son su: alto contenido de proteínas; vitaminas: A, B₆, C; sustancias minerales; Zn, Na, Ca, Fe, Mg, P, K; grasas y azúcares, además es un fruto que posee propiedades gustativas como su sabor y sus aplicaciones benéficas en la salud de las personas.

La fresa ha sido estudiada para conocer su poder antioxidante; ha sido comparada con las 11 frutas más consumidas en Estados Unidos, y científicos norte americanos han concluido que, en una relación gramo a gramo de los frutos estudiados, la fresa contiene mayor cantidad de vitamina C, E y beta carotenos, los tres antioxidantes por excelencia (CONAFRE, 2007).

Las propiedades nutracéuticas encontradas en las fresas, la hacen ser un fruto de excelencia para el consumidor, al destacarse por su contenido en vitamina C, taninos, flavonoides, antocianinas, catequina, quercetina y kaempferol, ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, salicílico y elágico), además de pigmentos y aceite esencial (Restrepo *et al.*, 2008).

En este sentido las sustancias nutracéuticas, pueden ser incrementadas y aprovechadas para darle un valor agregado a los frutos de fresa mexicana, generando preferencia en los diferentes mercados nacionales e internacionales en los cuales compite.

2. PRODUCTOS NUTRACÉUTICOS Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES

La palabra “Nutracéuticos”, está compuesta por dos términos en los que “nutra” deriva de nutrición y “céutico” de farmacéutico. Por lo que los nutracéuticos son alimentos o parte de un alimento, que benefician la salud. También se conocen como productos funcionales, ya que además de alimentar y nutrir, pueden ayudar a prevenir las enfermedades (IICA, 1999).

Los alimentos de origen vegetal como son las frutas, las hortalizas, las nueces, el vino tinto y algunos jugos, poseen compuestos nutracéuticos (vitaminas C, E, β -caroteno y compuestos fenólicos), que se caracterizan por su poder antioxidante y protector contra los radicales libres, que son en algunos casos los responsables del desarrollo de algunas enfermedades cancerígenas, cardiovasculares y cerebrovasculares (Padilla *et al.*, 2008).

La dieta y la nutrición son factores determinantes del estado óptimo de salud a lo largo de la vida. Actualmente está bien establecida la relación existente entre estos factores, lo que los convierte en componentes fundamentales ante la prevención de ciertos padecimientos crónicos en la salud (OMS/FAO, 2003).

En el año 2005 se reportaron 58 millones de muertes a nivel mundial, de las cuales 35 millones (60 %) fueron por padecimientos de enfermedades crónicas. Se considera que la tendencia de las enfermedades crónicas aumenten del año 1990 al 2020 en los países en desarrollo, en un 120 % en mujeres y en un 137 % en hombres. De igual manera se prevee un incremento entre los años 2007 al 2025, en el número de personas con diabetes a nivel mundial, de 246 a 380 millones y en el mayor de los casos, en personas que viven en países en desarrollo (PATH, 2009).

2.1 Radicales libres

Los radicales libres son moléculas que presentan electrones libres o desapareados en su último nivel, lo cual los hace altamente reactivos frente a otras moléculas, ya que buscan la estabilidad (Wolfe *et al.*, 2008).

Existen diferentes tipos de radicales libres y se clasifican de acuerdo al grupo funcional que presenta la molécula. El tipo de radical más relevante es el radical libre el oxígeno, el cual tiene en su estructura al oxígeno como centro funcional. De menor relevancia se encuentran los tioles, que presentan en su estructura al grupo azufre como grupo reactivo. Existen otros radicales libres que contienen carbono, fósforo o nitrógeno como centro reactivo. La mayoría de radicales libres provienen de reacciones metabólicas normales y se pueden incrementar por efecto de factores exógenos (Chihuailaf *et al.*, 2002).

Los radicales libres producen daños considerables a los lípidos, carbohidratos, proteínas y ADN que se encuentran en la célula. Las consecuencias de estos daños son múltiples y de importancia biológica, las cuales pueden ser irremediables a corto, mediano y largo plazo (Escorza y Calderón, 2009).

Un alto número de enfermedades (cardiovasculares y algunos tipos de cáncer) que desencadenan la muerte o deterioran la calidad de vida, son provocadas por los radicales libres, los cuales se pueden neutralizar con la capacidad antioxidante que presentan los alimentos de origen vegetal (Zapata *et al.*, 2007).

2.2 Estrés oxidativo

El oxígeno es una molécula indispensable para la sobrevivencia, sin embargo también es el inicio para la generación del daño celular, llamado “estrés oxidativo”, que se genera a partir del desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) y la defensa antioxidante, lo que provoca cambios fisiológicos y bioquímicos, que deterioran y provocan la muerte celular (Zapata *et al.*, 2007).

Entre las principales patologías que desencadena el estrés oxidativo se encuentran la aterosclerosis, el cáncer, la enfermedad de Alzheimer, la diabetes mellitus, enfermedades autoinmunes, enfermedades crónicas, situaciones de injuria por isquemia y repercusión en los tejidos, el síndrome de distrés respiratorio, entre otras (Mayor, 2010; Salinas *et al.*, 2009). Debido al impacto que tienen los radicales libres sobre múltiples patologías, es necesario el uso de antioxidantes, con la finalidad de mejorar la calidad de vida.

2.3 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que ayudan a la protección del cuerpo, frente al daño causado por los radicales libres, los cuales están directamente relacionados con el padecimiento de enfermedades del corazón, arterias, inflamaciones, cataratas, artritis, reumatismo, cáncer y diabetes (Nadheesha *et al.*, 2007).

Los antioxidantes se clasifican en enzimáticos y no enzimáticos, los no enzimáticos son nutrimentos esenciales que deben ser ingeridos por el organismo, ya que este es incapaz de sintetizarlos. Los antioxidantes no enzimáticos son un grupo heterogéneo de moléculas hidrófobas e hidrófilicas que capturan radicales libres y generan moléculas químicas menos nocivas para la célula. Los antioxidantes no enzimáticos hidrofílicos son la vitamina C, glutatión, ácido úrico, ergotioneína y compuestos polifenólicos, los cuales se ubican en el citosol, matriz mitocondrial y nuclear y en fluidos extracelulares (Chihuilaf *et al.*, 2002).

El mecanismo de acción de los antioxidantes consiste en ceder un electrón al radical libre (Figura 3), a su vez se oxidan y se transforman en un radical libre débil, sin efectos tóxicos. Existen diferentes funciones de los antioxidantes, unos impiden la formación de radicales libres, otros inhiben la acción de los radicales libres y otros favorecen la reparación y la reconstitución de las estructuras dañadas (Criado y Moya, 2009).

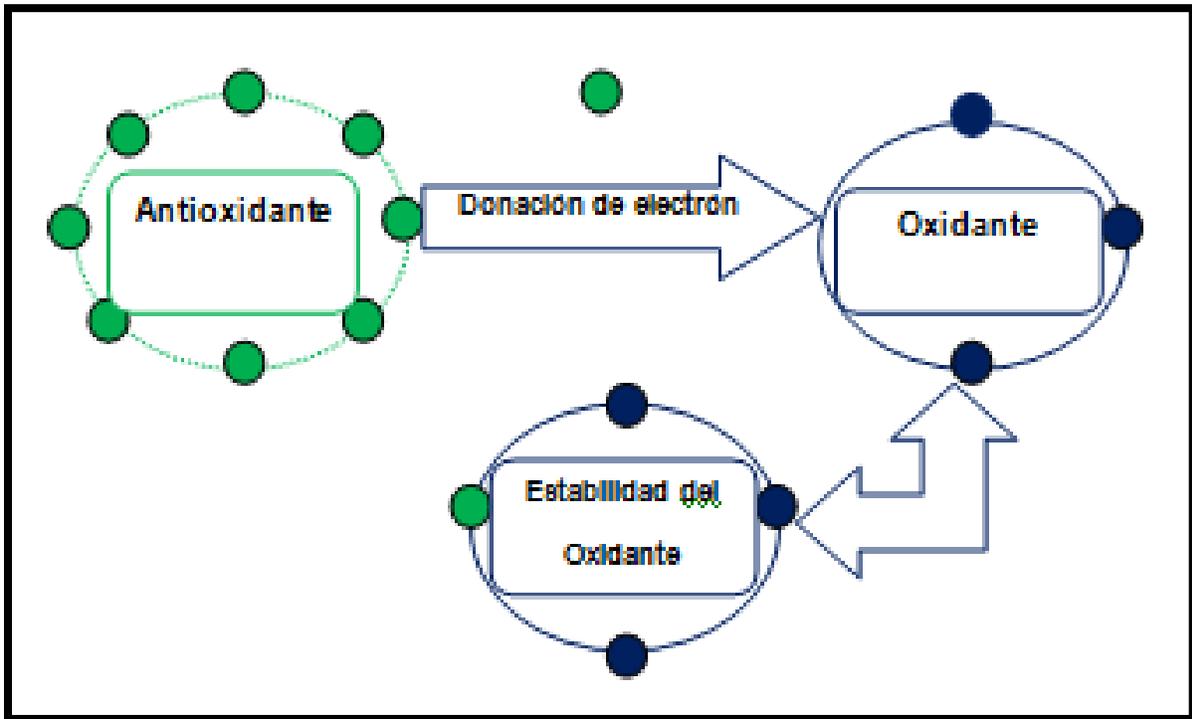


Figura 3. Mecanismo de acción de un antioxidante

La capacidad antioxidante que presentan las frutas y verduras, es el punto de interés ante la prevención y el control de ciertas enfermedades. La composición química de las mismas contiene: flavonoides, isoflavonas, flavonas, antocianinas, catequinas, isocatequinas, vitaminas C, E y betacarotenos, que están directamente relacionadas con el control y disminución de radicales libres a nivel celular, los cuales son los principales protagonistas del deterioro de la salud (Karadeniz *et al.*, 2005).

3. LOS COMPUESTOS FENÓLICOS COMO NUTRACÉUTICOS

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y se derivan todas ellas del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo (Figura 4) (Sánchez, 2009).

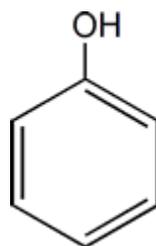


Figura 4. Estructura química del fenol. Imagen de Paladino, (2006).

Desde el punto de vista de la estructura química los compuestos fenólicos, son un grupo muy diverso que comprende, desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos, hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que resultan del metabolismo secundario de las plantas y su función no está relacionada en procesos como son la fotosíntesis, la asimilación del agua y nutrientes y la respiración celular. Sin embargo, en las plantas cumplen funciones como, la absorción de luz ultravioleta con la finalidad de ser una guía para los insectos polinizadores, la protección de las radiaciones ultravioleta, funcionan como fitoalexinas e incluso algunas quinonas actúan como sustancias tóxicas de defensa (Cano *et al.*, 2007; Gimeno, 2004).

Dependiendo de su origen en las rutas de biosíntesis, los productos naturales (metabolitos secundarios) se dividen en terpenos o terpenoides, polifenoles y alcaloides. La importancia de los polifenoles se debe a sus propiedades antioxidantes y son clasificados de acuerdo al número de anillos aromáticos contenidos en su

estructura química y la forma en que estos anillos se unen entre sí. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, los polifenoles se dividen en no flavonoides (ácidos fenólicos), en donde se encuentran los ácidos hidroxibenzoicos (ácido elágico) e hidroxicinámicos (ácido cafeico), flavonoides, estilbenos y lignanos (Fredes, 2009).

Los flavonoides que tienen dos anillos aromáticos, unidos por tres carbonos cuya estructura forman un heterociclo oxigenado, se subclasifican en flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianidinas y flavonoles. Las antocianidinas se pueden unir a diversos azúcares en diferentes posiciones formando el grupo de los antocianos (Fredes, 2009).

Los compuestos fenólicos son considerados nutraceuticos, es por ello que ha incrementado el interés del hombre por estas moléculas, ya que se han comprobado sus efectos positivos sobre la salud humana, ya que previenen ciertas enfermedades crónicas (diabetes, hipertensión, obesidad), neurológicas (mal de Parkison) y degenerativas (cáncer) (Salinas *et al.*, 2004).

3.1 Los flavonoides

Los flavonoides son un grupo de sustancias biosintéticas, no energéticas (Martínez *et al.*, 2002), que presentan diferentes estructuras fenólicas y se encuentran en frutas, vegetales, granos, raíces, flores, té y vino. Estas sustancias o compuestos naturales, son conocidos por sus efectos en el mejoramiento de la salud y se han identificado más de 4,000 tipos de flavonoides, muchos de los cuales determinan las coloraciones de las flores, frutas y hojas (Nijveldt *et al.*, 2001).

Los flavonoides están compuestos por dos anillos fenilos (A y B), unidos por un tercer anillo pirano (C₃), generando un esqueleto difenilpiranos: C₆-C₃-C₆, que resulta ser la estructura común de la mayoría de los flavonoides (Figura 5) (Escamilla *et al.*, 2009). Se subdividen en función de la presencia o ausencia de un doble enlace en los carbonos 4 y 5 del anillo C, de la presencia o ausencia de un doble enlace entre los

carbonos 2 y 3 del anillo C, y de la presencia de grupos hidroxilo en el anillo B. En función de sus sustituyentes químicos se clasifican en: flavonoles, antocianianidinas, flavonas, flavanonas y chalconas (Tenorio *et al.*, 2006).

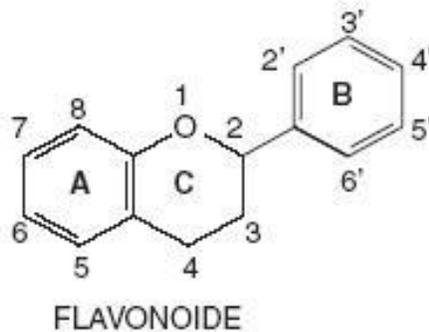


Figura 5. Estructura química de los flavonoide. Imagen de Tenorio *et al.* (2006).

La estructura química de los flavonoides posee un número variante de hidroxilos fenólicos y pueden unirse a polímeros biológicos como enzimas, transportadores de hormonas y ADN, además tienen propiedades de quelación de Fe, Cu, Zn, también pueden catalizar el transporte de electrones, y depurar radicales libres, lo que los hace particulares de una excelente capacidad antioxidante (Arroyo *et al.*, 2010).

Debido a este hecho se tienen los efectos protectores en patologías como la diabetes mellitus, cáncer, cardiopatías, infecciones víricas, úlceras estomacal y duodenal e inflamaciones (Martínez *et al.*, 2002).

3.2 Las antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos de gran importancia dentro de los compuestos fenólicos llamados flavonoides, son las responsables de los colores rojo, morado y azul que presentan las flores, la piel de las semillas, algunas hojas y frutas.

Las diferencias en las concentraciones y en la composición de las mismas, depende de factores genéticos y ambientales (Oancea y Oprean, 2011).

El color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules, mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas. Las diferencias entre las antocianinas esta determinada por el número de grupos hidroxilo, la naturaleza y el número de azúcares, al igual que sus posiciones en el compuesto (Chuan *et al.*, 2011).

Las antocianinas presentan un esqueleto de 15 carbonos, con dos anillos uno cromático y otro aromático, y se les une una o varias moléculas de azúcar en diferentes posiciones hidroxiladas de la estructura básica, confiriéndoles afinidad de posibles combinaciones con glucósidos y grupos acil, lo que, junto con la interacción con otras moléculas, genera una amplia gama de colores (Gómez y Jiménez, 2009; Gómez *et al.*, 2011).

Las antocianinas (Figura 7) son derivados de las antocianidinas (Figura 6), sin embargo la diferencia radica en que estas últimas no incluyen un grupo azúcar, lo cual marca la diferencia (Bondre *et al.*, 2012).

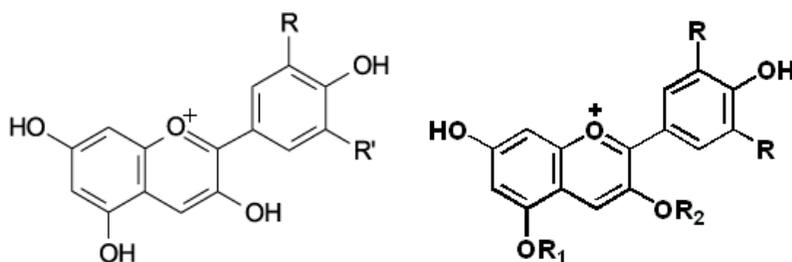


Figura 6. Estructura química básica de una antocianidina y Figura 7. Estructura química de una antocianina. Imagen de Astrid, (2008).

Actualmente se tienen identificados alrededor de 600 compuestos químicos determinados como antocianinas, de gran importancia para la industria alimenticia. Además, la importancia de estos compuestos radica en la actualidad en sus características nutracéuticas y principalmente su poder antioxidante, que tiene efectos preventivos de múltiples enfermedades como el cáncer (Gómez y Jiménez, 2009; Salinas *et al.*, 2009).

Además de los efectos positivos en la salud, los compuestos fenólicos (antocianinas) son los responsables de ciertas propiedades organolépticas de frutos y hortalizas, entre las que se destacan: el color, el sabor amargo, astringencia y el aroma (Gimeno, 2004). Por lo anterior, se pueden buscar biotecnologías que permitan el mejoramiento de la calidad de los alimentos de origen vegetal, a través del incremento de compuestos fenólicos.

4. LAS MICORRIZAS

El término micorrizas se aplicó por primera vez en 1885, para hacer referencia a la asociación que se da entre las raíces de los árboles y los hongos ectomicorrízicos. Para 1887 Frank diferenció las micorrizas y distinguió las ecto y endotróficas, de este acontecimiento se han dado cambios a través del tiempo (Rodríguez, 2005).

Actualmente se conocen cinco grupos de asociaciones micorrízicas, todas y cada una poseen su propio sistema morfológico, anatómico y sistemático tanto en plantas como en hongos. Los grupos son: ectomicorrizas o formadoras de manto, micorrizas de ericales, micorrizas de Orchidaceae, ectoendomicorrizas y micorrizas arbusculares llamadas también endomicorrizas (Aguilera *et al.*, 2008). Se tienen evidencias de que esta última asociación se estableció desde hace mas de 400 millones de años (Harrison, 2005).

La micorriza arbuscular (MA), es la asociación más común entre las raíces de la mayoría de las plantas y los hongos pertenecientes al orden de los *Glomales*. Es quizá la relación mutualista que se lleva a cabo en mayores cantidades, ya que se tienen datos de que aproximadamente 150 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) pueden colonizar alrededor de 225,000 especies de plantas (Gadkar *et al.*, 2001).

La micotrofia es la capacidad que poseen las plantas para lograr la asociación con HMA y con ello alcanzar ventajas de su asociación, esta capacidad puede ser obligatoria, facultativa o ausente. La primera desarrolla un sistema radical magnolioide (raíces pequeñas y de gran grosor, mínimas raicillas), en el segundo caso que son facultativas o también conocidas como no micotróficas, presentan el sistema graminoide (altas cantidades de pelos absorbentes) (Ochoa *et al.*, 2009).

En la simbiosis mutualista micorrízica arbuscular o endomicorrícica, el hongo se beneficia al obtener los carbohidratos necesarios para su sobrevivencia, los cuales son sintetizados en la planta a través del proceso de la fotosíntesis, y a cambio la planta recibe por parte del hongo minerales (Aguilera *et al.*, 2008).

El establecimiento de la relación micorrízica hongo-planta, ha incrementado su interés dentro de la agricultura moderna, ya que ofrece a las plantas múltiples ventajas como son: el facilitamiento de nutrientes para las plantas, que se encuentran en el suelo de manera indisponible como es el caso del fósforo inorgánico (Guerra, 2008); la protección contra patógenos (Juge *et al.*, 2009) entre otros.

4.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

Los HMA son microorganismos rizósfericos (Tapia *et al.*, 2010), biotrófos obligados, cuyo desarrollo depende de la asociación mutualista, que se lleva a cabo entre el hongo y las raíces de las plantas hospederas (Zhang *et al.*, 2012; Harrison, 2005). Se considera que pueden formar simbiosis con el 80 % de las plantas terrestres (Sharmah *et al.*, 2010), al asociarse con Angiospermas, Gymnospermas, Pteridofitas y Briófitas (Carvalho *et al.*, 2010).

Una vez que se lleva a cabo la asociación, los HMA desarrollan arbusculos que son estructuras de intercambio de carbono y de minerales entre el hongo y la planta. Algunos hongos también forman vesículas en el micelio interno, las cuales son estructuras de reserva del hongo (Árciga, 2008).

Los factores de infectividad y efectividad del hongo influyen en la determinación de esta asociación. El factor infectividad, se relaciona con la capacidad que tiene el hongo para penetrar e invadir la raíz de las plantas y con ello lograr una amplia exploración del suelo. El factor efectividad se refiere a la mejora que presentan las plantas que han sido infectadas previamente por el hongo (Tapia *et al.*, 2010).

Los HMA se encuentran en todo tipo de ecosistemas terrestres, por lo que existen cepas adaptadas a cualquier región y a diferentes condiciones ambientales, las cuales determinan el favorecimiento o el desfavorecimiento de dicha asociación.

El tema de la evolución no ha dejado exento a ningún ser vivo y se ha sugerido que los diferentes HMA han evolucionado de manera independiente y complementarios entre sí, ya que diferentes familias suelen ser mayormente efectivas para una función determinada, tal es el caso de la familia *Glomeraceae* que es específica en la protección de la planta contra patógenos, mientras la familia *Gigasporaceae* favorece la disponibilidad y absorción del fósforo. Por lo anterior se plantea que interacciones entre diferentes especies de HMA con algún cultivo vegetal, puede resultar alentador en sistemas de producción agrícola (Martínez y Pugnaire, 2009).

4.2 Clasificación taxonómica de los HMA

Los HMA pertenecen a la clase de los *Zygomycetos*; al orden de los *Glomales*; y al suborden *Glomineae*; existen 4 familias las cuales son *Paraglomaceae* (género: *Paraglomus*), *Archaeosporaceae* (género: *Archaeospora*), *Glomaceae* (género: *Glomus*), *Acaulosporaceae* (géneros: *Entrophospora* y *Acaulospora*). Al Suborden *Gigasporineae*, pertenece la familia *Gigasporaceae* (géneros: *Gigaspora* y *Scutellospora*) (Alarcón, 2001).

4.3 Reconocimiento entre la planta y el hongo micorrízico arbuscular

La factibilidad de la relación entre los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) con las plantas, se lleva a cabo por medio de señales específicas bioquímicas y genéticas, en las fases del desarrollo de la simbiosis, las cuales participan en el reconocimiento, la colonización y el intercambio de nutrientes. La simbiosis de HMA con las plantas, necesita del reconocimiento y armonización de procesos complejos que permitan el establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta (Ramírez y Rodríguez, 2010).

La planta es el organismo que controla la simbiosis, y es ella quien envía la primera señal de reconocimiento que permite la entrada del HMA al interior de sus células, ya que disminuye la actividad de su sistema de defensa, propiciando el ingreso del hongo a su interior. No se ha comprobado si el hongo genera sustancias que debiliten el sistema de defensa de la planta (Ramírez y Rodríguez, 2010).

La colonización de las raíces por parte del hongo micorrízico arbuscular, implica el desarrollo de diferentes estructuras fúngicas como son: hifa interna, arbuscúlos y vesículas, las cuales se forman dentro de las raíces hospederas de la planta (Fitze *et al.*, 2005).

Hifas: son ramificaciones fúngicas que se extienden horizontal y verticalmente en el suelo, favoreciendo el acceso y la asimilación de nutrimentos alejados de la planta con la cual forman simbiosis (Rodríguez, 2005).

Arbuscúlos: son estructuras fúngicas con múltiples ramificaciones, que se desarrollan dentro de las células vegetales y es el sitio donde se lleva a cabo el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta (Varela y Trejo, 2001).

Vesículas: son estructuras fúngicas que se producen debido al envejecimiento de la colonización micorrízica y contienen cantidades considerables de lípidos, que sirven de almacenamiento, y se producen en las raíces de las plantas o dentro de las mismas. No todos los hongos micorrízicos producen estas estructuras y como ejemplo de ello, se encuentran *Gigaspora* y *Scutellospora*, los cuales producen células auxiliares sobre el micelio externo en lugar de vesículas (Varela y Trejo, 2001).

4.4 Desarrollo de la simbiosis

En el establecimiento de la micorriza arbuscular, el hongo experimenta tres fases de desarrollo: la asimbiótica, la presimbiótica y la simbiótica.

La fase asimbiótica, se caracteriza por la germinación de la espora y producción mínima de micelio, fenómeno que ocurre en ausencia de la planta. En esta fase el hongo vive del reservorio de triaglicéridos.

La fase presimbiótica es estimulada por exudados de raíz, se caracteriza por la ramificación extensa de hifas, en la cual el hongo entra en contacto con la superficie de la raíz, formando un apresorio en la epidermis, previo a la penetración hifal. El apresorio es la estructura fúngica responsable de la penetración al tejido radical, que genera una reorganización en el citoplasma.

La fase simbiótica se lleva a cabo en las células corticales de la raíz, implica la formación de arbusculos intracelulares (estructuras ramificadas) y producción de micelio extraradical esporulativo. La colonización fúngica de la célula lleva al desarrollo de arbusculos, que se caracterizan por ser la interfase raíz-hongo, y sitio del intercambio de nutrientes y metabolitos (De la Rosa Mera, 2009).

Al llevarse a cabo la simbiosis mutualista, la planta proporciona entre un 4 y un 20 % del total de los fotoasimilados para el mantenimiento de dicha asociación (Bago *et al.*, 2000; Ochoa *et al.*, 2009).

Existen diversos factores que pueden dañar la micorriza arbuscular, entre los principales se encuentran: las prácticas culturales agrícolas (uso irracional de fertilizantes), aplicaciones de pesticidas, rotaciones de cultivos, así como los factores ambientales (Guerra, 2008).

4.5 Ciclo de vida de los HMA

La formación de esporas es relevante para el ciclo de vida de los HMA y la esporulación depende de diferentes factores tales como: la señalización, las especies de plantas hospederas y fúngicas, los cambios fisiológicos en la planta hospedera, los niveles de nutrientes e interacciones con otros microorganismos del suelo, la necesidad de un periodo de inactividad, exudados de la raíz y de compuestos volátiles, humedad del suelo, temperatura, pH, CO₂, flavonoides y presencia de bacterias (Figura 8) (De la Rosa Mera, 2009; skandari y Danesh, 2010).

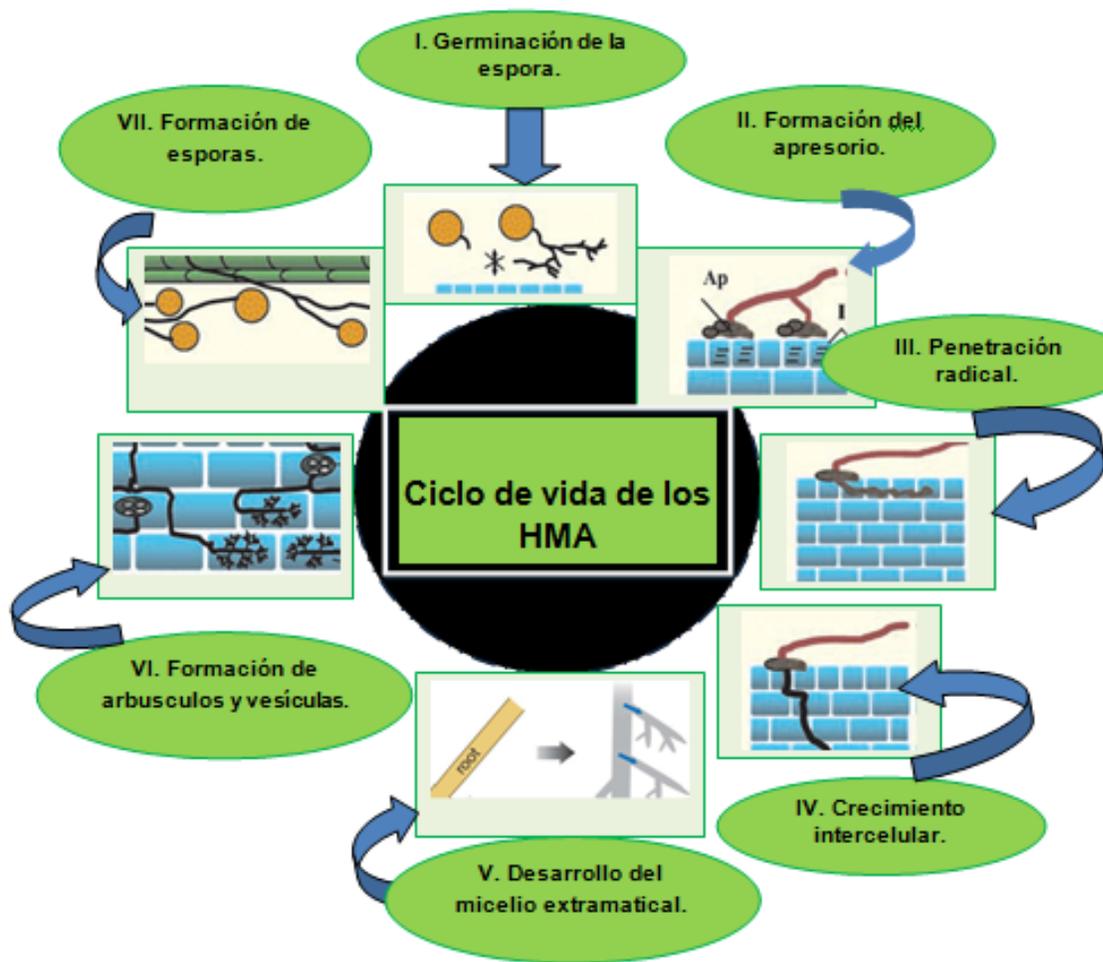


Figura 8. Ciclo de vida de los HMA (Figura elaborada con información de Rodríguez, 2005 e imágenes de Gadkar *et al.*, 2001).

4.6 Beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares

Son múltiples los beneficios que brindan los HMA a las plantas y al recurso suelo, ya que se han estudiado desde diferentes perspectivas en diferentes cultivos y bajo diferentes condiciones bióticas y abióticas, encontrándose resultados alentadores desde diferentes perspectivas.

Entre los principales efectos de los HMA se encuentra el favorecimiento de la nutrición vegetal (Alarcón *et al.*, 2000; Zepeda *et al.*, 2010) principalmente en N y P (Harris *et al.*, 2009), y pueden llegar a aportar el 80 % de P, 25 % del N, 10 % del K, 25 % del Zn y 60 % del Cu (Harris *et al.*, 2009), incremento de la capacidad de resistencia hídrica (Kaya *et al.*, 2003, Zepeda *et al.*, 2010); (Harris *et al.*, 2009), aumento en la productividad agrícola (Díaz y Garza, 2007), la estabilidad de los suelos (Guerra, 2008), disminución del ataque patogénico (Rodríguez *et al.*, 2006) en cultivos de interés económico (Lucha por hábitat), incremento en la síntesis de sustancias de pigmentación (Mena *et al.*, 2006).

Existen investigaciones que demuestran el importante papel de los HMA, en el desarrollo de múltiples cultivos de importancia e incluso el papel que juegan en el ecosistema.

Van der Heijden *et al.* (1998), demostraron que ciertos HMA tienen efecto directo ante la biodiversidad de las plantas y el funcionamiento del ecosistema. También comprobaron que los HMA mejoran la asimilación de nutrientes en diferentes cultivos, lo que fortalece los sistemas de producción.

Rodríguez *et al.* (2006), comprobaron que los HMA tienen efectos positivos en la supervivencia de plantas de papa *in vitro*. Ellos aplicaron *G. claroideum*, *G. mosseae* y *Glomus sp.*, los compararon con un control, sus resultados indicaron que los tratamientos que contenían *Glomus sp* y *Glomus claroideum*, fueron estadísticamente superiores al control y a *Glomus mosseae*.

Alarcón *et al.* (2000), en un estudio realizado sobre la inoculación de HMA en plántulas de fresa observó que los HMA, favorecen la aparición temprana y el número de estolones 10 días antes que los testigos, a diferencia de las plántulas madre de fresa no inoculadas.

Khalil *et al.* (2001), realizaron una investigación sobre el impacto de los HMA sobre la pudrición causada por *Fusarium sp.* en el cultivo de Gladiola, y encontraron que *G. aggregatum*, *G. sp* y Zac 19 logran controlar a *Fusarium oxysporum* en suelos con presencia de dicho patógeno.

Así mismo se ha reportado que la inoculación con HMA mejora la absorción de nutrientes, favorece el crecimiento, la ramificación, la época de floración, el número y la calidad de las flores de diferentes especies ornamentales (Rubí *et al.*, 2009).

5. JUSTIFICACIÓN

La fresa es una frutilla apreciada por sus virtudes organolépticas y gustativas para el público en general, sus características la hacen ser un fruto único y merecedor del título “la mejor frutilla existente”; al ser aceptada a nivel mundial, va incrementando su demanda en diversas partes del mundo y en diferentes aplicaciones, entre las que se encuentran la industria alimenticia (alimentos y bebidas preparadas), la cosmetología (tratamientos del cuidado personal, lociones y perfumes), y la biomedicina, esta última se comienza a interesar por sus propiedades nutraceuticas y su valioso desempeño en la prevención de ciertos padecimientos crónicos como la diabetes, la hipertensión, la obesidad y degenerativos como son algunos tipos de cánceres. Entre dichas propiedades nutraceuticas se encuentra la capacidad antioxidante, la cual estabiliza las oxidaciones que se presentan a nivel celular y con ello se evita el desencadenamiento de dichos padecimientos, por lo que es importante destacar que entre mayor capacidad antioxidante posea un alimento, mayores serán los beneficios proporcionados a la salud. Es importante mencionar que el pago por la frutilla depende de su calidad física (apariencia, color, tamaño, etc) y química (pH, azúcares entre otros) así como de su calidad nutraceutica, misma que puede ser aprovechada para darle un valor agregado a la fresa mexicana y con ello fortalecer el mercado, ya que en los últimos años a nivel mundial, la población comienza a preocuparse por lo que consume y comienza a integrar en su dieta alimentos que además de nutrir, benefician su salud. En este sentido, es preciso potenciar la calidad de la frutilla, haciendo uso de biotecnologías que permitan el desarrollo del cultivo de una manera sustentable, ya que en Michoacán es conveniente la permanencia del cultivo a largo plazo, por los miles de empleos que genera, además de ser el estado que ocupa el primer lugar en la producción de fresa a nivel nacional. Es por ello que resolver las problemáticas del cultivo debe ser una prioridad, ya que su manejo esta implicado en la calidad de la frutilla. Entre las principales problemática se encuentran la dependencia de plántulas extranjeras, que generan el pago por “regalías” y el alto uso de fertilizantes, que genera un alto costo de producción. Por lo anteriormente mencionado, en este trabajo se hizo uso de plántula

de fresa mexicana variedad Jacona, las cuales podrían ser una opción para los productores freseros y sin lugar a dudas obtendrían la ventaja de disminuir costos de producción al eliminarse el pago de regalías. También se hizo uso de biotecnologías tales como los Hongos Micorrízicos Arbusculares, los cuales están relacionados con mejoramientos de la calidad de algunas frutas y hortalizas, además de contribuir al desarrollo de una agricultura sustentable, al tener impacto sobre la disminución en el uso de agroquímicos, especialmente fosforados.

5.1 OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el efecto de los HMA sobre el rendimiento y la calidad de frutos de fresa.

Objetivos Específicos

Determinar el efecto de los HMA sobre el desarrollo y producción de plantas de fresa.

Evaluar el efecto de los HMA sobre la calidad externa del fruto.

Evaluar el efecto de HMA sobre la calidad interna del fruto.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material biológico

Para la elaboración de este trabajo se utilizaron dos variedades de fresa, una mexicana denominada Jacona y una extranjera llamada Albion, ambas de fotoperiodo neutro. Las dos variedades fueron proporcionadas por un productor de la región en Michoacán.

Los hongos micorrízicos arbusculares que se inocularon fueron *G. clarum* y un consorcio, ambos pertenecientes al cepario del laboratorio de Bioquímica Ecológica del CINVESTAV Unidad Irapuato.

Características morfológicas de *G. clarum* y del consorcio de HMA

Las esporas de *G. clarum* varían en coloración, presentándose desde un blanco hasta un amarillo-café. Presenta multiformas tales como la globosa, subglobosa, algunas veces elípticas e irregulares. Forma sus esporas posiblemente en raíces y el tamaño de las mismas varía entre 100 y 260 μm (Mirabal, 2004).

Consortio

Es un conjunto de HMA pertenecientes a los *Glomales*, que aseguran efectos benéficos en sus hospedantes (Trejo *et al.*, 2011).

2.2 Experimento en invernadero

El experimento se llevó a cabo en el invernadero del CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, ubicado en Jiquilpan, Michoacán, México. El cual se encuentra a una altitud de 1560 msnm, delimitado por las coordenadas 20°03'02" y 19°52'54" de latitud N y los meridianos 102°39'33" y 102°56'16" de longitud O.

El trabajo inició el 1 de septiembre del 2011 y terminó el 17 de marzo del 2012, dicho experimento se llevó a cabo en macetas de 3500 cm³, a las que se les agregó 5 Kg de una mezcla de suelo de limo y arena (v/v), el cual fue esterilizado a 121 °C por 1 h durante 3 días. Para la ubicación de cada una de las parcelas con sus respectivos tratamientos, se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar, cada parcela consistió en 10 plantas por unidad experimental con 3 repeticiones por parcela, para cada una de las variedades de fresa (*Fragaria annanasa*).

Los tratamientos fueron: 1) Var. Albion + *G. clarum*, 2) Albion + Consorcio y 3) Albion + Control (sin inóculo), 4) Var. Jacona + *G. clarum*, 5) Var. Jacona + Consorcio, 6) Var. Jacona + Control (sin inóculo). Las cantidades de inóculos consistieron en 10 g por maceta (10 esporas por gramo), las cuales fueron agregadas a la zona radicular al momento del trasplante de plántulas.

Se regó diariamente el cultivo de las plantas de fresa con la solución nutritiva Steiner (1961), bajándose las dosis del fósforo al 50 %. Se ajustó el pH de la solución nutritiva a un rango de entre 5.5 y 6.3 con ácido sulfúrico (30 ml/200L). Se estableció un sistema de riego por goteo (fertirrigación), con cinta de goteo calibre 8000, con gotero cada 30 cm y un gasto de 0.9 L h⁻¹. Con la solución nutritiva se aplicaron alrededor de 193 Kg de N ha⁻¹, 16.5 Kg de P ha⁻¹ y 496 Kg de K ha⁻¹ durante los meses en que duró el experimento.

2.3 Variables de crecimiento

Para la medición del área foliar, peso fresco y peso seco (parte aérea y raíz), se tomaron 3 plantas por repetición. El área foliar se midió con un flexómetro teniendo 9 fechas de evaluación. Ésta se calculó mediante el uso de la ecuación $Y = 20.29 + 2.543X$. En esta ecuación la variable dependiente Y representó al área foliar de una hoja trifoliada y la variable independiente X el área foliar del foliolo intermedio. Es decir, el área foliar se obtuvo del área foliar del foliolo intermedio, estimada con el producto del largo por el ancho máximo multiplicado por 0.78 en todas las hojas de la planta, y luego se obtuvo la suma del área foliar de tales folíolos. Posteriormente se aplicó la ecuación mencionada para estimar el área foliar total por planta en cada parcela (Vázquez *et al.*, 2009).

Se evaluó el peso fresco y peso seco de: raíz, corona, peciolo, frutos y hojas de las plantas de fresa en dos fechas a la mitad y al final del experimento. Se cuidó de no dañar los tejidos al momento de separarlos para obtener el peso fresco (Electronic kitchen scale SF-400). Para calcular el peso seco se introdujeron las muestras a la estufa (CRAFT) a 70 °C durante 72 h, hasta obtener un peso constante. Posteriormente se obtuvo el peso seco de cada uno de los tejidos usando una balanza (ACCULAB).

2.4 Variables reproductivas

2.4.1 Rendimiento

El rendimiento se determinó con base en el peso de cada uno de los frutos (balanza Electronic kitchen scale SF-400) y su relación con el número de frutos.

2.4.2 Peso promedio

El peso unitario de los frutos de fresa, se obtuvo por medio de una balanza digital (Balanza Electronic Kitchen Scale SF-400).

2.4.3 Tamaño

La medición consistió en obtener el diámetro ecuatorial (diámetro) y polar (longitud) de los frutos de fresa recién cosechada. La longitud y diámetro de los frutos obtenidos se midieron con un vernier digital (SURTEK).

2.5 Calidad interna

2.5.1 °Brix, acidez titulable y pH

Los sólidos solubles totales (°Brix) se midieron partiendo el fruto de fresa a la mitad, posteriormente se extrajo el jugo de ambas mitades y a continuación se homogenizó la dosis del jugo de fresa, obteniendo el índice de refracción mediante un refractómetro manual (ATAGO ATC-1, Tokio, Japan). Se tomaron 7 frutos como muestra, para cada tratamiento y variedad.

La acidez titulable se midió con base al método volumétrico de Rodríguez (2010). Se pesaron 20 g de muestra por tratamiento; se adicionaron 100 ml de agua destilada y se licuó por 2 min; posteriormente se filtraron con papel Whatman 40 y se aforó a 250 ml con agua destilada, se tomó una alícuota de 15 ml y se tituló con NaOH (0.1 N) a pH 8.1, utilizando como indicador 2 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1 %, expresándose los resultados en porcentaje de ácido cítrico. También se calculó la relación °Brix/acidez.

El pH se determinó con el jugo de las muestras obtenidas utilizando un potenciómetro (CG 840 Schott Gerate GmbH, Germany).

2.5.2 Contenido nutrimental

Para la cuantificación del contenido nutrimental en frutos de fresa se pesaron 100 g de fruto fresco, posteriormente se cortó en rodajas, para retirar la humedad se pusieron a secar en la estufa (CRAFT) a 70 °C durante 48 h. Para la determinación del contenido nutrimental en hojas se pesaron 20 g de hoja fresca, posteriormente se colocaron en la estufa (CRAFT) a 70 °C durante 72 h para eliminar el agua, una vez que las muestras estuvieron deshidratadas se pesaron 1.5 g en la balanza (ACCULAB) y se mandaron analizar al Colegio de postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

2.5.3 Vitamina C

La determinación de vitamina C se llevó a cabo mediante la técnica yodométrica descrita por Bin (2009). Se pesaron 50 gramos de muestra por tratamiento; se procesaron en un extractor (TUR MIX), a continuación se filtró con papel Whatman 40 y se aforó a 100 ml con agua destilada. Se tomó una alícuota de 20 ml, se añadió 150 ml de agua destilada, a continuación se le añadieron 5 ml de yoduro potásico (0.6 mol/L), después se agregaron 5 ml de la solución de ácido clorhídrico (1 mol/L) y 1 ml de la solución indicadora de almidón (0.5 %). La muestra se valoró con una solución de yodato de potasio (0.002 mol/L). Los resultados se expresaron en g de ácido ascórbico por 100 g de fruto fresco.

2.5.4 Azúcares reductores

La cuantificación de azúcares reductores se llevó a cabo mediante la técnica descrita por Miller (1959), donde se utilizó la glucosa como estándar elaborándose una curva patrón. Para ello se preparó una solución de glucosa (1 g/L) pesándose 0.1 g de glucosa, la cual se aforó a 100 ml con agua destilada. Posteriormente se hicieron

diluciones a 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 mg/L, a continuación se le adiciono 1 ml del reactivo DNS, se agitaron en el vórtex durante un minuto. Se incorporaron durante 5 min en un baño maría, transcurrido este tiempo se dejaron enfriar durante 5 min y posteriormente se agregaron 8 ml de agua destilada quedando un volumen final de 10 ml.

Se procedió a leer la absorbancia en el espectro UV-Visible (CARY 3E) a 575 nm, utilizándose como blanco el reactivo DNS. Los resultados se expresaron en % de glucosa.

Para la determinación de azúcares reductores en el fruto de fresa se pesaron 50 g de muestra; se procesaron en un extractor (TUR MIX), en seguida se filtraron con papel Whatman 40 y se aforó a 100 ml con agua destilada. Se tomó una alícuota de 20 µl, se añadieron 980 µl de agua destilada y 1 ml del reactivo DNS a cada muestra, posteriormente se homogeneizaron en vórtex durante un minuto y se colocaron en baño maría durante 5 min, a continuación se dejaron enfriar por 5 min, transcurrido el tiempo se agregaron 8 ml de agua destilada, quedando un volumen de 10 ml. Se leyeron las absorbancias en el espectro UV-Visible (CARY 3E) a 575 nm, utilizándose como blanco el reactivo DNS.

2.6 Calidad nutracéutica

Para la cuantificación de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas se siguió el método utilizado por Chávez-Ramos (2011).

2.6.1 Compuestos fenólicos

Para las extracciones de compuestos fenólicos, se tomaron 10 g de fresa, los cuales fueron macerados en un mortero con pistilo y se homogeneizaron con 20 ml de metanol acuoso (80:20 v/v). Los extractos se almacenaron a 4 °C durante 24 h.

Una vez pasado este tiempo se llevó a cabo la primera filtración con papel Whatman 40 y al sobrenadante de cada muestra se le adicionaron 20 ml de metanol acuoso (80:20 v/v), nuevamente se llevaron los extractos a 4 °C durante 24 h, este último paso se repitió dos veces más, hasta alcanzar un volumen de 80 ml por cada extracto. Los extractos se almacenaron a 4 °C durante 24 h y se cuantificaron los compuestos fenólicos totales por triplicado.

Se utilizó el ácido gálico como estándar elaborándose una curva patrón (0.01, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150 y 0.175 mg/ml) a partir de una solución madre con una concentración de 50 mg/ml. Para la cuantificación de fenoles totales a 50 µl de extracto crudo se le adicionaron 200 µl de agua destilada y 250 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu (50 % v/v) en tubos eppendorf, se agitaron vigorosamente en el vórtex durante 3 min. Transcurrido este tiempo se agregaron 500 µl de Na₂CO₃ (7.5 % p/v) y se mezclaron vigorosamente. Posteriormente se incubaron en el Termomixer durante 15 min a 45 °C y 500 rpm. Posteriormente se midieron las absorbancias a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (CARY 3E) y se utilizó como blanco al metanol acuoso (80:20 v/v) a 765 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico en 100 g de peso fresco.

2.6.2 Flavonoides

Para la cuantificación de flavonoides, se utilizó una curva de calibración de quercitina, para ello se pesaron 2.7 mg de quercitina y se aforó a 10 ml de etanol acuoso (80:20 v/v). De esta solución se tomaron alícuotas de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 y 110 µl, posteriormente se añadieron 200 µl de acetato de potasio 1M y 200 µl de nitrato de aluminio al 10 %, finalmente se llevó a volumen de 1 ml con etanol acuoso (80:20 v/v). Se tomaron las lecturas de absorbancia a 415 nm en el espectrofotómetro UV-Visible (CARY 3E) y el blanco utilizado fue etanol acuoso (80:20 v/v). Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de quercitina por 100 g de fruto fresco.

Para la determinación de las extracciones de flavonoides, se pesó un gramo de muestra, la cual fue macerada y homogenizada con 10 ml de etanol acuoso (80:20 v/v) en un mortero con pistilo. Posteriormente se sonicó en un baño ultrasónico digital (Branson 1200) durante 30 minutos a 40 °C. El sobrenadante se colocó a 4 °C durante 16 h, con 3 repeticiones por muestra.

Pasadas las 16 h, se tomaron 100 µl de extracto crudo y se les añadieron 200 µl de solución de acetato de potasio 1M y 200 µl de nitrato de aluminio al 10 %, posteriormente se aforó a 1 ml con etanol acuoso (80:20 v/v) en microtubos de 1.5 ml. Los microtubos se dejaron en reposo durante 40 min y se midió la absorbancia a 415 nm en el espectrofotómetro UV-Visible (CARY 3E). Se utilizó como blanco al etanol acuoso (80:20 v/v).

2.6.3 Antocianinas

La determinación de antocianinas, se llevó a cabo a partir de un gramo de muestra, la cual fue macerada en un mortero con pistilo, luego se homogenizó con 5 ml de etanol acidificado (etanol y HCL 1N; 90:10 v/v). Posteriormente las soluciones se agitaron vigorosamente en vórtex y el pH se ajustó a 1. Las extracciones se pusieron a 4 °C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se procedió a filtrar las muestras con papel Whatman 40, el sobrenadante de cada muestra se aforó a 25 ml con etanol acidificado (etanol y HCl 1N; 90:10).

Finalmente se procedió a leer la absorbancia contra un blanco de etanol acidificado a 535 nm en el espectrofotómetro (UV-Visible CARY 3E). El cianidina 3-glucósido fue utilizado como estándar. La concentración de antocianinas totales se determinó con la siguiente ecuación:

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

Donde:

C= Concentración total de antocianinas (mg/kg),

A= Absorbancia a 535 nm,

E= Absortividad 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 g/mol

PM= Peso de la muestra.

La concentración de antocianinas fue expresada en mg de cianidina-3-glucósido equivalentes por 100 g de fruto fresco.

2.7 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza para el diseño experimental en bloques completos al azar, y se hizo una comparación de promedios mediante la prueba de la DMS ($p < 0.05$), con el uso del Programa SAS para Windows versión V8 (SAS, 1992).

Capítulo III. RESULTADOS

3.1 Variables de crecimiento

En la Tabla 6 se muestra el área foliar, obtenida en cada una de las variedades con los respectivos tratamientos. La variedad Jacona, presentó un área foliar significativamente superior (31.02 %) ($p \leq 0.005$) a la variedad Albion en el promedio de las fechas evaluadas. Los tratamientos inoculados presentaron áreas significativamente superiores a las de los tratamientos control para ambas variedades. La variedad Jacona presentó la mejor interacción con *G. clarum*, y presentó un área foliar significativamente superior (9.83 %) ($p \leq 0.005$) a la del tratamiento control, comportamiento estable a lo largo del período de evaluación del área foliar. Así, la variedad Albion inoculada con *G. clarum* en promedio presentó un área foliar superior (7.40 %) ($p \leq 0.005$) al tratamiento control.

Tabla 6. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrícicos arbusculares sobre el área foliar.

ÁREA FOLIAR (cm ²)						
Variedad	HMA	60 ddt	88 ddt	121 ddt	135 ddt	Promedio
ALBION	CONTROL	214.31 d	447.26 c	724.57 d	706.52 b	523.167 d
	<i>G. clarum</i>	190.51 d	442.52 c	750.97 d	894.79 a	564.993 c
	Consorcio	264.75 c	423.71 c	809.58 c	692.38 b	552.310 cd
JACONA	CONTROL	401.16 b	647.47 b	950.60 b	955.32 a	738.640 b
	<i>G. clarum</i>	466.18 a	744.89 a	1129.57 a	936.03 a	819.170 a
	Consorcio	406.84 b	712.08 a	972.67 b	973.63 a	766.310 b

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

La Tabla 7 muestra el número de hojas en plantas de las variedades de fresa Jacona y Albion inoculadas con HMA. Las plantas de la variedad Jacona presentaron un número de hojas significativamente mayor (26.28 %) ($p \leq 0.005$) que las plantas de la variedad Albion (Tabla 7) tanto a los 60 ddt como a los 121 ddt. En general, los tratamientos inoculados no promovieron el incremento en el número de hojas de ambas variedades.

Tabla 7. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el número de hojas.

NÚMERO DE HOJAS			
Variedad	HMA	60 ddt	121 ddt
ALBION	CONTROL	5.00 c	9.86 d
	<i>G. clarum</i>	4.83 d	14.00 c
	Consortio	5.16 c	12.50 c
JACONA	CONTROL	6.86 a	20.00 a
	<i>G. clarum</i>	7.00 a	21.50 a
	Consortio	6.30 b	17.20 b

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En cuanto al tamaño de hojas, la variedad Jacona superó significativamente (22.84 %) ($p \leq 0.005$) a la variedad Albion a los 60 ddt (Tabla 8), además, esta misma variedad inoculada con *G. clarum* y el consorcio presentó tamaños de hojas que resultaron superiores al tratamiento control (13.72 y 10.28 %) ($p \leq 0.005$) (Tabla 8). Con respecto a la variedad Albion en la misma fecha, el tamaño de hojas del tratamiento con el consorcio resultó ser significativamente superior (16.54 %) al tratamiento control.

A los 121 ddt la variedad Albion, presentó diferencias superiores (23.06 %) con respecto a la variedad Jacona, sin embargo no se presentaron diferencias entre los tratamientos y ocurrió todo lo contrario, ya que los tratamientos control fueron los que mayores tamaños de hojas presentaron. La variedad Jacona presentó diferencias entre tratamientos, siendo el del consorcio el que presentó un tamaño de hojas significativamente superior (16.02 %) al tratamiento control (Tabla 8).

Tabla 8. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el tamaño de hoja.

TAMAÑO DE HOJA (cm ²)			
Variedad	HMA	60 ddt	121 ddt
ALBION	CONTROL	42.86 d	73.57 a
	<i>G. clarum</i>	39.30 d	53.95 cd
	Consorcio	51.39 c	64.77 b
JACONA	CONTROL	58.56 c	47.53 d
	<i>G. clarum</i>	66.60 a	52.59 cd
	Consorcio	64.58 ab	56.60 c

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

El peso fresco de toda la planta no fue diferente entre variedades y tratamientos (Tabla 9), sin embargo, se presentaron diferencias entre algunos tratamientos de diferentes tejidos de las plantas.

Los pesos frescos de raíz, corona, hojas y peciolo de las dos variedades de fresa Jacona y Albion, no presentaron diferencias entre variedad. En la variedad Albion el peso fresco de corona, del tratamiento del consorcio fue significativamente superior (20 %) al tratamiento control, siendo los tratamientos del consorcio (55.66 %) y *G. clarum* (50.23 %) significativamente superiores al tratamiento control. En la variedad Jacona ocurrió el efecto inverso, ya que para estas variables, el tratamiento control fue el que presentó un peso significativamente superior.

En el peso fresco del fruto, la variedad Jacona fue superior significativamente (12.31 %) a la variedad Albion y el tratamiento de *G. clarum* (51.37 %) fue superior al control. En la variedad Albion, los tratamientos de *G. clarum* (40.29 %) y consorcio (44.54 %) fueron superiores al tratamiento control.

En el peso fresco de las hojas, la variedad Albion (9.8 %) superó a la variedad Jacona. Así mismo los tratamientos *G. clarum* (34.25 %) y el consorcio (32.69 %) fueron significativamente superiores al tratamiento control. Con respecto a la variedad Jacona, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 9. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso fresco de plantas.

PESO FRESCO (g)							
Variedad	HMA	Raíz	Corona	Peciolos	Fruto	Hojas	Peso Fresco Total
ALBION	CONTROL	13.25 ab	8.20 b	7.4 c	9.75 d	17.58 d	56.20 a
	<i>G. clarum</i>	12.21 b	8.54 ab	14.87 a	16.33 bc	26.74 a	78.70 a
	Consorcio	13.15 ab	10.25 a	16.69 a	17.58 b	26.12 ab	83.64 a
JACONA	CONTROL	14.76 a	9.25 ab	14.66 a	9.75 d	22.16 c	81.76 a
	<i>G. clarum</i>	11.96 b	9.09 ab	10.62 b	20.05 a	24.12 bc	59.18 a
	Consorcio	12.00 b	8.04 b	10.37 bc	15.62 c	22.33 c	68.37 a

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

El peso seco de las plantas variedad Jacona resultó significativamente superior al de la plantas variedad Albion (Tabla 10). De igual manera el peso seco total, fue mayor en plantas de la variedad Jacona que en plantas de la variedad Albion. En raíz, corona y hojas no hubo diferencias entre variedades, pero si en frutos y peciolos. La inoculación de uno u otro inóculo permitió obtener mejores resultados.

El peso seco total de las plantas variedad Jacona inoculadas con *G. clarum* resultó significativamente superior (10.09 %) al de las plantas de la variedad Albion (Tabla 10). En este sentido, en el tejido radicular de la variedad Albion, el tratamiento de *G. clarum* fue superior (35 %) estadísticamente al tratamiento control. En este mismo parámetro, ocurrió lo mismo en la variedad Jacona, siendo el tratamiento de *G. clarum* superior estadísticamente (13.81 %) al tratamiento control. El peso seco de la corona en la variedad Albion, fue superior en el tratamiento con el consorcio (14.17 %) a diferencia del control, lo mismo ocurrió en la variedad Jacona, cuyo tratamiento del consorcio fue estadísticamente superior (17.33 %) al tratamiento control. En el parámetro de peso seco de hojas, el tratamiento del consorcio fue el que mejores resultados mostró en ambas variedades de fresa, en la variedad Albion este tratamiento fue estadísticamente superior (34.66 %) al control, así mismo ocurrió que en la variedad Jacona el tratamiento del consorcio fue estadísticamente superior (8.50 %) al control.

Tabla 10. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso seco de las plantas.

PESO SECO (g)							
Variedad	HMA	Raíz	Corona	Peciolos	Fruto	Hojas	Peso Seco Total
ALBION	CONTROL	2.798 c	1.908 c	1.519 d	1.384 f	5.448 d	13.058 e
	<i>G. clarum</i>	4.352 a	1.820 c	1.964 bc	2.464 c	6.490 c	17.092 d
	Consortio	2.420 d	2.223 a	2.632 a	2.101 d	8.339 a	17.715 c
JACONA	CONTROL	3.673 b	1.807 c	2.088 bc	3.571 a	7.811 b	18.951 b
	<i>G. clarum</i>	4.262 a	2.086 b	2.117 b	2.700 b	8.537 a	19.704 a
	Consortio	3.446 b	2.186 ab	1.943 c	1.458 e	7.593 b	17.128 d

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 11 se presentan los contenidos de N, P, K, Ca, Mg en las hojas de plantas de fresa de las variedades Albion y Jacona.

La variedad Albion mostró contenidos significativamente superiores de P, K y Mg, los nutrimentos medidos, en comparación con la variedad Jacona. En cuanto a la inoculación con HMA, los contenidos de N y K en follaje se incrementaron significativamente (6.09 y 12.80 %) por efecto de la inoculación con *G. clarum* en plantas de la variedad Albion a diferencia del control, mientras que el consorcio tuvo contenidos menores de P en follaje, en comparación con el control y con *G. clarum*.

Es de destacar que las plantas de la variedad Jacona mostraron un contenido significativamente superior de P y K cuando se inocularon con *G. clarum* (22.72 y 22.05 %, respectivamente) o con el consorcio (23.60 y 23.60 %, respectivamente) (Tabla 11) en comparación con los tratamientos control, así mismo, la combinación de esta variedad con *G. clarum* permitió la disminución en la concentración del Ca a diferencia del control, pero el consorcio logró incrementar los niveles de Ca significativamente (13.56 %) a diferencia del control, pero disminuyeron sus contenidos de Mg.

Tabla 11. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido nutrimental en hojas.

CONTENIDO NUTRIMENTAL EN HOJAS						
Variedad	HMA	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
ALBION	CONTROL	1.480 c	5914.3 a	9694.1 b	11000.5 a	5537.63 a
	<i>G. clarum</i>	1.576 a	5390.3 b	11118.2 a	9946.8 ab	5695.98 a
	Consorcio	1.476 c	4910.8 c	9766.1 b	10564.1 ab	5607.38 a
JACONA	CONTROL	1.560 ab	3898.5 d	7370.5 c	9372.5 b	4697.77 b
	<i>G. clarum</i>	1.580 a	5044.7 bc	9456.2 b	7080.8 c	4030.47 c
	Consorcio	1.526 b	5102.9 bc	9658.5 b	10843.2 a	3728.49 c

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 12 se presentan los contenidos de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na en las hojas de plantas de fresa de las variedades Albion y Jacona.

En la variedad Albion el consorcio de HMA promovió un incremento significativo en los contenidos de Fe, B y Na en follaje, comparado con aquellos mostrados en el resto de los tratamientos, mientras que *G. clarum* causó una acumulación de Mn significativamente superior al resto de los tratamientos. En la variedad Jacona la inoculación con *G. clarum* permitió que las plantas igualaran o superaran los contenidos de Fe, Cu, B y Na que mostraron las plantas de la variedad Albion sin inocular. El mismo comportamiento se presentó con la inoculación de las plantas con el consorcio de HMA para los contenidos de Cu, B y Na.

Tabla 12. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido nutrimental en hojas.

CONTENIDO NUTRIMENTAL EN HOJAS							
Variedad	HMA	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)
ALBION	CONTROL	195.71 b	4.09 b	29.75 a	31.72 b	89.93 c	551.47 b
	<i>G. clarum</i>	218.34 b	3.37 c	13.14 c	37.42 a	93.56 c	451.02 c
	Consorcio	261.40 a	3.79 b	16.27 b	30.09 b	105.11 b	707.81 a
JACONA	CONTROL	89.01 c	3.12 c	12.43 cd	24.81 c	75.96 d	432.87 c
	<i>G. clarum</i>	213.18 b	4.55 a	10.85 cd	25.35 c	103.99 b	603.94 b
	Consorcio	111.01 c	3.82 b	16.64 b	21.11 d	115.07 a	596.68 b

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

3.2 Variables reproductivas

En la Tabla 13 se muestran el rendimiento y número de frutos obtenidos de plantas de fresa de las variedades Albion y Jacona. Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento para las dos variedades de fresa estudiadas en la fecha pico de cosecha (90 días después de trasplante) (Tabla 13). El rendimiento total de la variedad Jacona superó significativamente (13 %) al de la variedad Albion tanto en los ratamientos con hongos micorrízicos como en el control.

La inoculación con *G. clarum* como con el consorcio favoreció el rendimiento de la variedad Albion, provocando un incremento significativo (28.75 y 17.49 %) respecto al control no inoculado. De igual manera, en la variedad Jacona se presentó un aumento significativo del rendimiento en el tratamiento inoculado con el consorcio (14.17 %) comparado con el tratamiento control. Mientras que la inoculación de plantas variedad Jacona con *G. clarum*, tuvo un rendimiento similar al del control. El mayor rendimiento se presentó en la plantas Jacona inoculadas con el consorcio de HMA (Tabla 13).

Por otro lado, en cuanto al número de frutos, la variedad Albion tuvo un número significativamente mayor al de la variedad Jacona (40 %). Además, el tratamiento del consorcio inoculado en la variedad Albion fue significativamente superior (23.63 %) al tratamiento control y con *G. clarum* en esta variedad, efecto contrario al ocurrido con el tratamiento de *G. clarum* en la variedad Jacona.

Por otro lado, la inoculación de plantas de la variedad Jacona con el consorcio y *G. clarum*, disminuyó significativamente el número de frutos producidos (33 y 17.18 %) respecto al tratamiento control (Tabla 13).

Tabla 13. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el rendimiento y número de frutos.

RENDIMIENTO (g)				
Variedad	HMA	Rendimiento (g) a 90 ddt	Rend Total (g) (190 ddt)	Número de frutos a 90 ddt
	ALBION	CONTROL	512.00 cd	1 783.50 e
<i>G. clarum</i>		500.00 d	2 296.37 c	44.00 b
Consorcio		577.50 b	2 095.50 d	55.00 a
JACONA	CONTROL	561.50 bc	2 439.50 b	33.00 c
	<i>G. clarum</i>	396.50 e	2 462.50 b	22.00 e
	Consorcio	654.25 a	2 665.64 a	27.33 d

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 14 se presentan el peso y tamaño de frutos de la variedad Albion y la variedad Jacona en términos de diámetro ecuatorial y diámetro polar. El peso promedio de los frutos de la variedad Jacona fue superior (120 %) al de los frutos de la variedad Albion. El peso de los frutos no se vio afectado por la inoculación de plantas variedad Albion con *G. clarum*, sin embargo, la inoculación con el consorcio tuvo un impacto negativo sobre este parámetro de calidad de fruto. Mientras que en la variedad Jacona, los tratamientos inoculados *G. clarum* y el consorcio presentaron un peso de fruto significativamente mayor que el control no inoculado (10.50 y 53.26 %), superando incluso al resto de los tratamientos en la variedad Albion.

No se encontraron diferencias significativas en el tamaño (diámetro ecuatorial y polar) de los frutos provenientes de ambas variedades (Tabla 14). Sin embargo, la inoculación con HMA tanto con *G. clarum* como con el consorcio, promovió un incremento significativo en el diámetro ecuatorial de los frutos variedad Albion respecto al control (8.42 y 12.08 %). En la variedad Jacona, fue *G. clarum* el inóculo que presentó un efecto positivo sobre esta variable, incrementándolo significativamente (7.40 %) en comparación con el tratamiento control. Con respecto al diámetro polar de los frutos, no se mostraron diferencias estadísticas entre variedades ni entre tratamientos.

Tabla 14. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el peso promedio de frutos, diámetro ecuatorial y polar.

PESO PROMEDIO, DIAMETRO ECUATORIAL Y POLAR DE FRUTOS				
Variedad	HMA	Peso	Diámetro	Diámetro
		promedio de frutos 90 ddt	ecuatorial	polar
ALBION	CONTROL	11.93 d	2.73 c	3.43 a
	<i>G. clarum</i>	11.73 d	2.96 ab	3.13 a
	Consortio	10.43 e	3.06 a	3.06 a
JACONA	CONTROL	17.14 c	2.70 c	2.96 a
	<i>G. clarum</i>	18.94 b	2.90 ab	3.26 a
	Consortio	26.27 a	2.80 bc	3.03 a

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

3.3 Calidad interna

La calidad interna de los frutos fue medida en términos de acidez titulable (AT), sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), relación $^{\circ}$ Brix /acidez titulable ($^{\circ}$ Brix/AT) y pH. Cabe señalar que la inoculación de las plantas de la variedad Jacona con *G. clarum* o con el consorcio, incrementó significativamente la AT de los frutos (27.77 y 24.60 %), mientras que en la variedad Albion la inoculación con *G. clarum* y el consorcio ejerció el efecto contrario (Tabla 15). El tratamiento con el consorcio de HMA no mostró efecto significativo sobre los $^{\circ}$ Brix en frutos de ambas variedades. Mientras que el tratamiento con *G. clarum* disminuyó los $^{\circ}$ Brix en los frutos de las dos variedades de fresa. En cuanto a la relación $^{\circ}$ Brix/AT, se presentó una tendencia ascendente por la inoculación de las plantas variedad Albion con HMA, esta tendencia se invirtió en frutos provenientes de plantas variedad Jacona inoculadas con *G. clarum* o con el consorcio. Los mayores valores de pH se presentaron en los frutos de la variedad Albion independientemente de la inoculación con HMA, además el tratamiento *G. clarum* provocó un aumento significativo del pH en los frutos (4.26 %), respecto a los frutos obtenidos de las plantas sin inocular (Tabla 15). Por otro lado, en los frutos de la variedad Jacona no se presentó ningún efecto de la inoculación con HMA sobre el pH.

Tabla 15. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre la acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (°Brix), relación °Brix /AT y pH del fruto.

Variedad	HMA	AT	°Brix (%)	°Brix/AT	pH
ALBION	CONTROL	1.25 b	7.95 a	6.36 ab	3.52 b
	<i>G. clarum</i>	0.98 d	8.44 b	8.59 a	3.67 a
	Consorcio	1.10 c	8.96 a	8.15 a	3.63 ab
JACONA	CONTROL	1.26 b	7.79 a	6.15 ab	3.34 c
	<i>G. clarum</i>	1.61 a	7.39 b	4.56 b	3.36 c
	Consorcio	1.57 a	8.40 a	5.35 b	3.28 c

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 16 se presentan las concentraciones de vitamina C de los frutos de fresa de las variedades Albion y Jacona, provenientes de plantas inoculadas con HMA o sin inocular. En cuanto a la inoculación con HMA, las plantas de la variedad Albion y de la variedad Jacona mostraron la misma respuesta a *G. clarum*, tratamiento que promovió un aumento significativo del contenido de vitamina C en los frutos de ambas variedades, el cual fue de 6.1 % en la variedad Albion y de 11.17 % en la Jacona, comparado con aquel que presentaron los frutos de los controles no inoculados.

Por otro lado, el contenido de azúcares reductores en los frutos no se vio afectado por la variedad de fresa, sin embargo, la inoculación con *G. clarum* y el consorcio promovieron la acumulación de azúcares reductores en los frutos de la variedad Jacona, causando un incremento significativo de 57 % respecto al tratamiento control no inoculado (Tabla 16).

Tabla 16. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre la Vitamina C y Azúcares reductores.

Variedad	HMA	Vitamina C (mg/100g)	Azúcares reductores (%)
ALBION	CONTROL	77.54 b	7.32 c
	<i>G. clarum</i>	82.34 ab	8.54 bc
	Consorcio	80.02 b	7.53 c
JACONA	CONTROL	78.12 b	7.22 c
	<i>G. clarum</i>	86.85 a	11.39 a
	Consorcio	78.19 b	10.26 ab

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 17 se muestran las concentraciones de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos presentes en frutos de las variedades Albion y Jacona, provenientes de plantas inoculadas con HMA o de plantas sin inocular.

El contenido de antocianinas de frutos, se favoreció significativamente entre variedades, siendo Jacona superior (55.16 %) a Albion. Así mismo, se encontraron diferencias entre tratamientos inoculados en la variedad Jacona, resultando el consorcio superior significativamente en la concentración de antocianinas (46.85%) al control.

Se observó que el contenido de flavonoides de los frutos variedad Jacona fue significativamente mayor (63 %) que el mostrado por frutos de la variedad Albion. Cabe destacar que los tratamientos inoculados en plantas de ambas variedades, promovieron el incremento significativo de la concentración de flavonoides en frutos. En la variedad Albion los tratamientos con *G. clarum* y el consorcio fueron superiores

estadísticamente (6.23 y 29.49 %) que los tratamientos control. En la variedad Jacona, los tratamientos con *G. clarum* y el control también fueron superiores (112 y 14.76 %) estadísticamente al tratamiento control (Tabla 17).

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos, los frutos pertenecientes a la variedad Jacona superaron a los frutos de la variedad Albion (34.03 %), cuyo contenido no se vio influenciado por la inoculación con HMA, a diferencia de los frutos en la variedad Jacona, cuyo contenido de compuestos fenólicos se incrementó (14.95 %) significativamente por efecto de la inoculación de plantas con *G. clarum* y superó al resto de los tratamientos (Tabla 17).

Tabla 17. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos en fruto.

COMPUESTOS NUTRACÉUTICOS				
Variedad	HMA	Antocianinas	Flavonoides	Compuesto
		(mg cianidida-3-glúcosido/100 g fruta).	(mg Quercetina/100 g fruta).	s Fenólicos (mg Ácido gálico/100 g fruta).
ALBION	CONTROL	22.26 b	229.44 e	164.64 cd
	<i>G. clarum</i>	19.61 b	243.75 d	160.74 d
	Consorcio	14.45 b	297.11 b	165.41 cd
JACONA	CONTROL	23.52 b	228.89 f	192.85 b
	<i>G. clarum</i>	23.53 b	485.47 a	221.70 a
	Consorcio	34.54 a	262.68 c	190.41 bc

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 18 se presenta el contenido nutrimental de los frutos de fresa pertenecientes a las variedades Albion y Jacona, inoculadas con diferentes tratamientos de HMA.

En el contenido de N en el fruto, no se encontraron diferencias significativas entre variedades, pero sí entre tratamientos. En la variedad Albion, el tratamiento de *G. clarum* resultó superior (7.32 %) al control, caso contrario a lo ocurrido en la variedad Jacona, donde el control presentó mayor contenido de N que los tratamientos con HMA.

En cuanto al contenido de P en frutos fue significativamente superior (4 %) la variedad Albion. Los tratamientos no ejercieron ningún efecto en la variedad Albion, sin embargo, en la variedad Jacona el tratamiento de *G. clarum* incrementó significativamente el contenido de P en frutos (11.28 %) respecto al control.

En relación al contenido de K en frutos, se encontraron diferencias entre variedades, siendo superior (8.85 %) la variedad Albion con respecto a la variedad Jacona. La variedad Albion mostró diferencias entre tratamientos, siendo el tratamiento del consorcio significativamente superior (9.77 %) al tratamiento control. En la variedad Jacona, los mayores contenidos de K en frutos, fueron los obtenidos en el tratamiento control.

Así mismo en el contenido de Ca, los frutos de la variedad Albion tuvieron un contenido significativamente superior (53.91 %) al de aquellos de la variedad Jacona. Dentro de la variedad Albion, el tratamiento del consorcio mostró un contenido de Ca significativamente superior (19.50 %) al control. Mientras que en la variedad Jacona no se encontraron diferencias entre tratamientos.

El contenido de Mg fue diferente en frutos obtenidos de ambas variedades de fresa. Los frutos pertenecientes a la variedad Albion registraron un mayor contenidos de Mg (11.43 %) con respecto a los obtenidos de la variedad Jacona. Se encontraron diferencias entre tratamientos en ambas variedades, siendo superiores los de *G. clarum* (4.17 %) y el consorcio (4.16 %) en la variedad Albion y *G. clarum* (7.37 %) en la variedad Jacona, y todos superiores a los controles.

Tabla 18. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de N, P, K, Ca y Mg en fruto.

CONTENIDO NUTRIMENTAL DE FRUTOS						
Variedad	HMA	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
ALBION	CONTROL	1.160 bc	3047.30 ab	7090.9 bc	1323.65 b	1386.67 c
	<i>G. clarum</i>	1.245 a	2986.49 bc	7473.9 ab	1373.01 b	1444.55 b
	Consortio	1.145 c	3070.46 a	7783.7 a	1581.78 a	1494.44 a
JACONA	CONTROL	1.245 a	2652.62 d	7150.8 bc	1027.68 c	1249.06 e
	<i>G. clarum</i>	1.140 c	2951.88 c	6883.4 cd	1008.45 c	1341.14 d
	Consortio	1.185 b	2702.21 d	6496.4 d	930.88 d	1231.04 e

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

En la Tabla 19, se muestra el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na en frutos de fresa, pertenecientes a las variedades Albion y Jacona, inoculadas con diferentes tratamientos de HMA.

No se encontraron diferencias entre variedades en el contenido de Fe, pero sí entre tratamientos, siendo superior el consorcio (14.40 %) con respecto al control en la variedad Albion y superiores *G. clarum* (24.40 %) y el consorcio (27.22 %) en la variedad Jacona, con respecto al control.

Lo mismo ocurrió en el contenido de Cu, donde no se encontraron diferencias entre las variedades Jacona y Albion, y en el caso de la Albion el tratamiento del consorcio promovió las concentraciones más bajas e incluso inferiores al control. Sin embargo, en

la variedad Jacona, sí se encontraron diferencias entre tratamientos, siendo el de *G. clarum* superior (42.99 %) al control.

Para el contenido de Zn y Mn, no se encontraron diferencias entre los frutos de las variedades Jacona y Albion, ni entre tratamientos para la variedad Albion, mientras que en la variedad Jacona resultó que *G. clarum* tuvo contenidos inferiores a los presentados en el tratamiento control.

En el caso del Boro, no se encontraron diferencias en el contenido de los frutos obtenidos de las variedades de fresa Albion y Jacona. En la variedad Albion, se encontraron diferencias entre tratamientos, resultando mayores *G. clarum* (23.20 %) y el consorcio (19.42 %) que el control.

Para el contenido de Na en los frutos obtenidos de las variedades Albion y Jacona, los frutos de la variedad Albion superaron (11.90 %) a los de la Jacona. Entre tratamientos también se encontraron diferencias siendo *G. clarum* (16 %) y el consorcio (15.51 %) superior al control en la variedad Jacona, pero en la variedad Albion, el consorcio resultó ser inferior al control.

Tabla 19. Efecto de la inoculación de plantas de fresa con hongos micorrízicos arbusculares sobre el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na en fruto.

CONTENIDO NUTRIMENTAL EN FRUTOS							
Variedad	HMA	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)
ALBION	CONTROL	28.492 bc	2.330 a	8.659 ab	25.952 a	53.840 d	479.40 a
	<i>G. clarum</i>	29.540 b	2.203 a	7.823 b	20.935 bc	66.334 a	477.02 a
	Consorcio	32.596 a	1.696 b	8.858 ab	18.656 c	64.297 ab	399.45 bc
JACONA	CONTROL	26.583 c	1.521 b	10.008 a	20.426 bc	59.966 bc	367.51 c
	<i>G. clarum</i>	33.070 a	2.175 a	5.742 c	21.577 b	64.281 ab	428.39 b
	Consorcio	33.820 a	1.130 c	8.720 ab	19.183 bc	55.168 cd	424.54 b

Se presentan las medias separadas por la prueba de DMS. Cifras seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$, $n=3$). ddt=después del trasplante.

Capítulo IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Variables de crecimiento

El área foliar de las plantas de fresa de las variedades estudiadas en este trabajo, osciló en un rango promedio de 523.16 a 819.17 cm². Estos valores coinciden con lo reportado por Casierra* *et al.* (2011) para *Fragaria vesca* (348.22 a 928,37 cm²). Los resultados mostraron que la variedad Jacona desarrolló hojas con una mayor área foliar que la variedad Albion, en este sentido, Crespo *et al.* (2010), evaluaron diferentes variedades de *Fragaria ananassa* (Antea, Asia, Clery y Matis), y encontraron diferencias entre ellas, los rangos de área foliar se encontraron entre 1927 a 6222 cm², dichos rangos fueron superiores a los encontrados en este trabajo, sin embargo, los autores atribuyeron dichas diferencias a la relación de los genotipos de fresa con las condiciones ambientales, ya que encontraron diferencias de más del 100 % entre la misma variedad bajo diferentes sitios de producción.

Con respecto a los HMA, se ha observado que estos influyen directamente en el mejoramiento del área foliar de diversos frutales. En papayo (*Carica papaya L.*), los HMA lograron un incremento del área foliar de 168 % a los 64 ddt y de 2380 % a los 115 ddt con respecto al control en vivero (López *et al.*, 2005). De igual manera, se reportó un incremento en el área foliar del 43.54 % debido a los HMA a diferencia del control, en plantas de tomate cv. Daniela a los 36 ddt en invernadero (Jaizme y Rodríguez, 2008).

Los mismos autores reportaron un incremento del 81.94 % en el área foliar por uso de HMA a diferencia del control, en platanera (*Musa acuminata* Colla AAA cv. Gran Enana). Del mismo modo, se atribuyó a los HMA (*Glomus* Zac-19) el incremento del área foliar del 100.976 % a diferencia del tratamiento control, en plántulas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) a los 125 ddt (Manjarrez *et al.*, 2005).

Los pesos secos de las plantas de fresa de las variedades Jacona y Albion, presentaron diferencias estadísticas entre variedades y tratamientos, las plantas que presentaron mayor peso seco total, fueron las de la variedad Jacona con respecto a la variedad Albion, los rangos de peso seco total de ambas variedades se registraron entre 13.058 y 19.704 g, mismos que resultaron muy superiores a los reportados por Casierra y Vargas (2007), quienes encontraron pesos secos totales de plantas de fresa de 9.30 g en la variedad Chandler (81 ddt), 8.44 g en Camarosa (70 ddt) y 10.12 en la variedad Sweet Charlie (94 ddt).

Los autores reportaron pesos secos de hojas de 5.68 g para la variedad Chandler, 5.63 g para Camarosa y 6.12 g para la variedad Sweet Charlie, los cuales son inferiores a los obtenidos en esta investigación, ya que oscilaron entre 5.44 y 8.33 g para ambas variedades con los distintos tratamientos. Así mismo Alarcón *et al.* (2000), reportaron resultados muy similares a los de este trabajo, sin embargo los autores no encontraron diferencias significativas en los pesos secos de las plantas (*Fragaria x annanassa* Duch. cv. Fern) inoculados con HMA y los controles no inoculados e incluso en algunos casos los controles eran los que mayores pesos registraron, los autores atribuyeron este hecho a que los HMA tuvieron efecto sobre la formación de estolones y plantas hijas. En otros cultivos, se ha reportado el efecto de los HMA sobre el peso seco de las plantas, como es el caso de Alarcón y Ferrera (2003), quienes reportaron un incremento del 308% en *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, a los 210 ddt a diferencia de los tratamientos control.

Todas las variables de crecimiento evaluadas indicaron que la variedad Jacona superó en tamaño y producción de biomasa a la variedad Albion, lo cual puede atribuirse principalmente a su genotipo (Crespo *et al.*, 2010). Adicionalmente, pudo establecerse que la inoculación de plantas de fresa con HMA tuvo un efecto sobre su crecimiento, el cual es dependiente tanto de los aislados de hongos micorrízicos aplicados como de la variedad de fresa con la cual interaccionan. Al parecer los HMA modifican los patrones de partición de carbono en las plantas y ésto a su vez podría determinar el mayor desarrollo de ciertos tejidos. Ésto pudo observarse claramente al evaluar el peso

seco de la planta completa y de sus diferentes tejidos, ya que las plantas de la variedad Albion desarrollaron mayor biomasa de peciolo, frutos y hojas al inocularse con los dos tratamientos de HMA, pero solo uno de estos inóculos incrementó la biomasa seca de raíz, mientras que el otro incrementó la biomasa seca de corona. De igual manera los inóculos de HMA ejercieron efectos distintos sobre el desarrollo de plantas variedad Jacona, siendo *G. clarum* el que favoreció la acumulación de biomasa en raíz, corona, fruto y hojas, dando lugar a la mayor biomasa seca de todos los tratamientos. Existen trabajos que demuestran el efecto de los HMA sobre la acumulación de masa seca total. López *et al.*, (2005) reportó un mejoramiento del 131 % a los 64 ddt y de 332.25 % a los 115 ddt con respecto al control en plantas de papayo.

Las plantas que no presentaron diferencias en su biomasa fresca total difirieron en la biomasa de ciertos tejidos cuando fueron inoculadas con HMA, tal fue el caso de plantas variedad Albion que desarrollaron mayor biomasa de corona, peciolos, frutos y hojas por efecto de la inoculación con HMA. Mientras que las plantas variedad Jacona solo fueron influenciadas positivamente en el desarrollo de biomasa fresca de fruto por uno de los aislados (*G. clarum*).

No existen trabajos que demuestren que el cultivo de fresa se beneficia mejor con un HMA en parámetros biométricos, pero es destacable que los HMA presentan cierta particularidad, ya que se ha demostrado que los obtenidos a partir de un cultivo, pueden ser de mayor beneficio para el mismo cultivo y distintas variedades, en contraste de los obtenidos de un cultivo e inoculados en uno totalmente diferente. Por otro lado, la dinámica de interacción entre plantas y HMA, está relacionada por efectos estacionales. Por lo que estos factores, pudieron ser los responsables de que no se desarrollara una óptima simbiosis entre los HMA y la variedad de fresa Albion.

En diferentes plantas perennes principalmente en frutales, se ha comprobado que existen diferencias entre variedades para lograr una óptima capacidad de absorción de nutrientes desde el suelo (Barbazán, 1998). Los HMA juegan un papel importante ante la nutrición de las plantas, ya que facilitan la absorción de ciertos nutrimentos tales

como N, P, K, Zn Cu, entre otros (Harris *et al.*, 2009). Sin embargo, puede presentar cierta especificidad con algunas variedades.

La variedad Albion inoculada con *G. clarum* mostró concentraciones superiores de N, K, Mn, Fe y Na con respecto al control. La misma variedad con el tratamiento del consorcio tuvo efectos positivos en las concentraciones de Fe, Na y Mn. Contrario a lo esperado, el P se redujo en el follaje de las plantas inoculadas. Interesantemente, la inoculación de la variedad Jacona, mostró un mayor efecto sobre el contenido nutrimental del follaje, ya que se obtuvieron mayores concentraciones de un mayor número de nutrimentos en las hojas de plantas que fueron inoculadas con *G. clarum* (N, P, K, Fe, Cu, B, Na) y con el consorcio (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Na) con respecto a plantas no inoculadas.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Pedraza *et al.* (2005), quienes encontraron que el contenido de P, K, Cu y Zn, se incrementó en hojas de gerbera (*Gerbera jamesonii*) por efecto de la inoculación de *G. mossea* y *A. scrobiculata*. Se ha reportado previamente el impacto de los HMA sobre la asimilación de P, N, K, Cu, Zn (Guerra *et al.*, 2008), en plantas de fresa y nochebuena, las cuales mostraron una mayor asimilación de nutrientes. Así mismo Alarcón *et al.* (2001), aclararon que los HMA (*Glomus fasciculatum*, *Glomus etunicatum* y *Glomus aggregatum*) tuvieron efecto directo sobre la calidad nutricional de las plantas de fresa, al encontrar que estos microorganismos favorecieran la nutrición de plantas madre, permitiendo que las plantas hijas producidas por ellas presentaran mayor concentración de N y P. Así mismo, Rivera *et al.* (2011) encontraron que la concentración de N, P y K fue incrementada en plántulas de Aguacate por la inoculación de *G. hoi like* y *G. mosseae* a diferencia del tratamiento control.

La variedad Jacona fue beneficiada en mayor medida por los tratamientos de HMA en relación a los contenidos nutrimentales de hojas, a diferencia de la variedad Albion que se vio menos favorecida. Dicha manifestación podría explicarse por el grado de especificidad entre el HMA y el genotipo evaluado, ya que Díaz y Garza (2007),

evaluaron nueve híbridos de sorgo y cinco genotipos de cártamo bajo las mismas condiciones ambientales e inoculadas todas y cada una con el mismo aislado de HMA (*G. intraradices*), y encontraron diferencias en el desarrollo de las plantas entre tratamientos (altura de masa, biomasa seca, peso de raíz, etc.).

Por otro lado, el mejoramiento de las variedades de especies vegetales, comienza a hacer un factor que influencia la capacidad de formar simbiosis con los HMA, quizá el hecho de enfocarse en la selección de los genes que determinan características de interés agronómico, ha perjudicado a los que intervienen en la formación de la simbiosis (Rodríguez, 2005).

4.2 Variables reproductivas

El rendimiento de las plantas de fresa estuvo influenciado por la variedad, de modo que la fresa variedad Jacona (2 665.64 g) superó la productividad de la variedad extranjera Albion (2 296.37 g), lo cual coincide con Rodríguez (2010) quien reportó superioridad en el rendimiento de la variedad Jacona (131.66 t.ha^{-1}) con respecto a las variedades Albion (90.828 t.ha^{-1}), Zamorana (106.34 t.ha^{-1}) y Festival (107.24 t.ha^{-1}) en un sistema de alta tecnología., el autor atribuyó las variaciones a la relación genotipo y condiciones ambientales. También Shokaeva, (2005), mencionó que las condiciones ambientales pueden influir en el rendimiento de una determinada variedad de fresa.

En relación a la aplicación de HMA, ambas variedades respondieron positivamente, incrementado su rendimiento cuando fueron inoculadas. Este comportamiento se ha observado también en cultivos de sorgo (Díaz *et al.*, 2008).

Otro de los beneficios que los HMA pueden proveer a ciertos cultivos de interés, es el incremento en el tamaño de los productos finales de interés económico, tales como chile *Capsicum annum* (Montero *et al.*, 2010) y bulbos de cebolla (Charron *et al.*, 2001; Mena *et al.*, 2006).

Los pesos promedio de los frutos de ambas variedades utilizadas en esta investigación oscilaron entre 10.43 y 26.27 g, siendo superiores a los reportados por Reyes y Lavín (2003), para las variedades japonesas Harunoka, Hokowase, Hinomine, Kurome, Reiko, Morioka, Terunoka y Yachio que se encontraron entre 4.1 y 10.1 g. También Casierra**** y García (2006), reportaron pesos de 3 y los 12 g en frutos de las variedades de fresa Chandler, Camarosa y Sweet Charlie.

En este trabajo se observó que la variedad Jacona produjo los frutos de mayor peso y que éste se incrementó por efecto de la inoculación tanto con *G. clarum* como con el consorcio de HMA. El hecho de que el peso de los frutos de la variedad Albion se incrementara solo por la inoculación con *G. clarum* indicó que el efecto de los HMA sobre el tamaño de frutos depende del aislado fúngico utilizado y de la variedad de la especie vegetal cultivada, tal como se ha sugerido previamente (Mena *et al.*, 2006; Montero *et al.*, 2010).

El tamaño de los productos agrícolas de interés económico no solo se determina por el peso sino también por las dimensiones de diámetro y longitud, en el caso de la fresa el tamaño está dado por el diámetro ecuatorial y el diámetro polar. Es destacable que la inoculación con HMA pudo promover un mayor tamaño de frutos de fresa incrementando además del peso, el diámetro ecuatorial, efecto que también resultó dependiente de la variedad del cultivo y del inóculo aplicado, como se ha reportado previamente para otros productos (Mena *et al.*, 2006).

4.3 Calidad interna

Otros parámetros de calidad relevantes en los frutos de fresa son la acidez titulable, el contenido de °Brix, la relación °Brix/AT y el pH. El rango de acidez titulable encontrado en este trabajo fue de 0.98 y 1.61 para las variedades de fresa Albion y Jacona, mientras que Martínez *et al.* (2008) reportaron valores de 1.08 a 1.34 para las variedades de fresa CP Roxana, CP Paola, CP J, Aromas, Camarosa, Festival. Los autores también reportaron un rango de °Brix de 7.8 a 9.2 para estas variedades, que

es similar al reportado en el presente trabajo para la variedad Albion y la variedad Jacona. Además, Martínez *et al.* (2008) reportaron valores de la relación °Brix/AT de 5.66 a 8.4 en las variedades previamente mencionadas mientras que en el presente trabajo se encontraron valores de 4.6 y 8.2.

Los resultados mostraron que estos parámetros de calidad interna de la fresa fueron influenciados por la inoculación con HMA, los cuales ejercieron un efecto distinto dependiendo de la variedad de fresa en que fueron aplicados. Es importante considerar que no se ha reportado el efecto de los HMA sobre estos parámetros de calidad, por lo que se considera que este trabajo es innovador al reportarlos por primera vez.

Los contenidos nutrimentales en los frutos de fresa variaron con respecto a los tratamientos que resultaron de la combinación entre variedad y HMA, sin embargo todas las combinaciones tuvieron efectos (positivos y negativos) ante diferentes concentraciones de macro y micronutrientes. Es importante resaltar que no existen trabajos que reporten la calidad nutricional de frutos de fresa obtenidos de plantas inoculadas con HMA. Sin embargo, Castillo *et al.* (2009), encontraron que *Glomus claroideum* y una mezcla de HMA nativos, beneficiaron el contenido de nutrientes en frutos de Ají (*Capsicum annum* L. cv. Cacho de Cabra) a diferencias del control en suelos estériles (*G. claroideum* incrementó Ca, K, Cu; la mezcla de HMA aumentó K, Cu) y en suelos no esterilizados (*G. claroideum* mejoro Mg y K). Por lo que se considera que este trabajo abre el camino para el desarrollo de posteriores investigaciones para determinar el papel del mejoramiento nutricional de los frutos de fresa de plantas inoculadas con HMA y en el mejoramiento de otros aspectos de calidad de fruto sobre los cuales los HMA ejercen efectos positivos (e.g. tamaño, contenido de vitaminas, etc.).

Los valores del contenido de vitamina C obtenidos en este trabajo, variaron entre 77.54 a 86.86 mg/100 g de fruta fresca, los cuales son superiores (2 veces) a los reportados por Beltrán *et al.* (2010), quienes reportaron contenidos de 47.64 mg de vitamina C/100g de fruto fresco de *Fragaria vesca*. Estas diferencias en el contenido de

Vitamina C de frutos pueden deberse a las diferencias en genotipo. Howard *et al.* (1994) evaluaron dos variedades de ají de la misma especie y encontraron que el ají rojo contiene 30 % más vitamina que el ají verde, por lo que es de esperarse que en fresa existan diferencias entre especies.

Con respecto al contenido de vitamina C, no se encontraron diferencias entre las variedades de fresa Jacona y Albion, sin embargo si las hubo entre tratamientos, resultando superiores las concentraciones de vitamina C en frutos provenientes de plantas inoculadas con *G. clarum* en ambas variedades. Existe poca información respecto al efecto de los HMA sobre los contenidos de vitaminas en productos agrícolas. En este sentido, Bagyaraj y Sreeramulu (1982), reportaron el incremento de vitamina C en frutos de *Capsicum* sp. producidos por plantas inoculadas con HMA. Los autores determinaron que dicho efecto es dependiente del inoculante utilizado.

En relación al contenido de azúcares reductores en frutos, la variedad Jacona superó a Albion, en esta última no se encontraron diferencias entre tratamientos, caso contrario a lo ocurrido en Jacona, en esta variedad, los frutos pertenecientes a los tratamientos de *G. clarum* y al consorcio, presentaron mayores concentraciones de azúcares reductores. El rango obtenido de azúcares reductores se encontró entre 7.22 y 11.39 g de glucosa por 50 g de fruto fresco. Estas concentraciones son superiores (2 veces) a las reportadas por Beltrán *et al.* (2010), en la variedad diamante, ellos presentan un rango de 5.8 a 6.6 g de glucosa por 100 g de fruta fresca, es importante mencionar que los valores que ellos presentaron fueron tomados de las frutas que habían sido previamente tratadas con radiación UV-C. Así mismo, se podría explicar que las diferencias de azúcares reductores, pueden deberse al uso de diferentes especies de plantas.

La calidad nutracéutica de la fresa está determinada tanto por su contenido de vitamina C (Beltrán *et al.*, 2010), como de otros compuestos antioxidantes, tales como los fenólicos que incluyen los flavonoides y las antocianinas (pigmentos característicos) (Aaby *et al.*, 2005; Basu y Rhone, 2010; Buendía *et al.*, 2010; Carvajal *et al.*, 2012). En

el presente trabajo se determinaron los contenidos de estos compuestos bioactivos en frutos de las variedades de fresa Albion y Jacona, las cuales fueron tratadas con HMA. Los resultados mostraron que el contenido de antocianinas no fue distinto en las variedades Albion y Jacona, sin embargo, la inoculación de plantas variedad Jacona con el consorcio de HMA promovió una mayor acumulación de estos pigmentos en frutos.

Las concentraciones de antocianinas obtenidas en este trabajo variaron desde 14.45 hasta 34.54 mg cianidina-3-glúcosido/100g pf, se encontraron diferencias entre variedades y tratamientos, la variedad que resultó con mejores concentraciones fue la variedad Jacona. Las concentraciones fueron inferiores (1.3 veces) a las reportadas por Montero *et al.* (1996) en *F. ananassa*, (80 mg cianidina-3-glúcosido/100g pf). Sin embargo, Cheel *et al.* (2007) reportaron en *F. x ananassa*, *F. chiloensis ssp chiloensis* y *F. vesca*, concentraciones de 15.7 a 30.6 mg cianidina 3-glucósido por 100 g pf. De igual manera, Meyers *et al.* (2003) reportan concentraciones de antocianinas en fresa de 22.0 a 48 mg cianidina-3-glúcosido/100g pf, en las variedades Earliglow, Annapolis, Evangeline, Allstar, Sable, Sparkle, Jewel y Mesabi, las cuales son congruentes con las presentadas en este estudio. Asimismo, Simirgiotis *et al.* (2008) reportan concentraciones de antocianinas similares a las reportadas en esta investigación, (27.9 mg cianidina-3-glúcosido/100g pf, para *F. ananassa* cultivar Chandler. Por otro lado, Pineli *et al.* (2011) reportan concentraciones de antocianinas de 17.7 a 292.9 mg por kg en las variedades Oso grande y Camino real, cuales son muy inferiores a las aquí mostradas.

A diferencia de las antocianinas, los flavonoides se acumularon en cantidades distintas en los frutos de fresa por efecto de la variedad, siendo la Albion aquella que presentó el mayor contenido de estos compuestos. Las concentraciones de flavonoides fueron de 229.44 a 485.47 mg de quercetina/100g pf, las cuales fueron muy superiores a las reportadas por Buendía *et al.* (2010), en 15 variedades de fresa (1.5 a 3.4 mg por 100 g pf quercitina, kaempferol y coumaroyl), las concentraciones que ellos presentan varían debido a los métodos de extracción que difieren a los utilizados en esta investigación.

De igual manera, son superiores (2.5 veces) a la concentración de flavonoides reportada por Cheel *et al.* (2007) en *F. vesca* y *F. x ananassa* cv. Chandler, ya que reportan concentraciones de 99.7 mg quercitina por 100 g pf, los autores atribuyen las variaciones a la diferencia entre especies. Sin embargo, las concentraciones de flavonoides aquí obtenidas, coinciden con las reportadas por Bushra y Farooq (2007) para *F. ananassa* (357.54 mg por 100 g quercitina/100g pf).

Las concentraciones de compuestos fenólicos en frutos de la variedad Jacona fueron superiores a las de frutos variedad Albion. Las mejores concentraciones de compuestos fenólicos se obtuvieron en los tratamientos que contenían HMA, las concentraciones fueron en algunos casos superiores a las reportadas por Klopotek *et al.* (2005), quienes evaluaron diferentes variedades de fresa y la media de concentraciones de fenoles totales reportada fue de 257.1 mg de ácido gálico por 100 g pf. También las concentraciones de este trabajo fueron superiores a las presentadas por Panico *et al.* (2009) quienes reportaron en las variedades Maletto 144 mg de ácido gálico por 100 g pf, y en Tudla 124 mg de ácido gálico por 100 g pf. Así mismo Cheel *et al.* (2007), reportaron concentraciones de compuestos fenólicos de 268.1 mg de ácido gálico por 100 g pf en la especie *F. vesca*. Esta concentración se encuentra dentro del rango de concentraciones obtenidas en esta investigación. También Aaby *et al.* (2005) reportaron concentraciones de 230 a 340 mg de ácido gálico por 100 g pf, en las variedades de fresa Totem y Puget Reliance.

Las diferencias obtenidas en las concentraciones de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos, pueden deberse al uso de las distintas variedades de fresa, ya que existen diferencias en el contenido de dichos compuestos entre variedades y especies, lo cual se podría atribuir al genotipo. También ciertos factores ambientales influyen ante la síntesis de dichos compuestos, entre ellos se encuentra la luz, la localidad (Peña *et al.*, 2006), la temperatura. Así mismo el grado de madurez de la fruta también determina la síntesis de las antocianinas (Peña *et al.*, 2006).

Recientemente se ha dado énfasis ante la síntesis de compuestos fenólicos en frutos y verduras, debido al destacable papel que presentan esas sustancias ante el mejoramiento de la salud (Cheel *et al.*, 2007). Es nueva y controversial, la idea del papel que pueden jugar ciertos organismos (en este caso Hongos Micorrízicos Arbusculares) ante la síntesis de dichas sustancias, ya que en algunos cultivos resulta favorable la acumulación de estos pigmentos y en otros ocurre totalmente lo contrario.

Sin embargo, los resultados de esta investigación coinciden con los de Baslam *et al.* (2009), quienes reportaron que los HMA incrementaron la concentración de compuestos fenólicos en el cultivo de lechuga, ellos utilizaron tres especies de lechuga denominadas: Batavia Rubia Mungia (L. Sativa L. Var. Capitata), Maravilla de Verano (L. Sativa L. Var. Capitata) y Cogollos de Tudela (L. Sativa L. Var. Longifolia) inoculadas con *G. fasciculatum* y un inóculo comercial que contenía a *G. intraradices* y *G. mosseae*. Los resultados mostraron que los HMA pueden beneficiar los contenidos de compuestos fenólicos, dependiendo de la relación que se dé con la variedad de la lechuga, ya que la variedad Cogollos de Tudela (L. Sativa L. Var. Longifolia) respondió mejor a la síntesis de compuestos fenólicos, cuando fue inoculada con los dos inóculos, a diferencia de las otras dos variedades que no se favorecieron con la inoculación. El contenido de antocianinas, se favoreció en las hojas inferiores de los tres cultivares de lechuga inoculadas con los HMA a diferencias de los controles. Los autores no descartan la idea de la importancia que presentan las condiciones ambientales ante las síntesis de compuestos fenólicos y con ello, la formación entre los simbioses, por lo que se puede deducir que las simbiosis entre las plantas y los HMA, está influenciada por su medio ambiente y las necesidades de los mismos.

4.4 CONCLUSIONES

- ✓ Los HMA beneficiaron el desarrollo y producción de las plantas de fresa, lo cual influyó positivamente en los parámetros biométricos de las plantas y por ende en el rendimiento del fruto en las variedades Albion y Jacona.
- ✓ La calidad externa del fruto se benefició debido a las inoculaciones de HMA, se demuestra que dichos microorganismos tienen la capacidad de modificar la calidad externa de los frutos (e.g. tamaño), y es importante resaltar que se encontraron mayores beneficios entre la variedad Jacona y los inóculos, en comparación con la variedad Albion.
- ✓ La calidad interna del fruto se favoreció por el efecto de los HMA, por lo que en este trabajo se concluye que, los HMA intervienen en el metabolismo secundario de las plantas, ante la síntesis de compuestos fenólicos y vitamina C.

Capítulo V. PERSPECTIVAS

- ✓ Es necesario hacer más investigaciones relacionadas con la interacción entre Hongos Micorrízicos Arbusculares y plántulas de fresa, mexicanas y extranjeras, ya que es preciso establecer las condiciones ambientales en las cuales se lleva a cabo la interacción positivamente y con ello alcanzar los beneficios que se pueden obtener en el rendimiento y la calidad de los frutos de fresa.
- ✓ Es preciso buscar, identificar y aplicar HMA que jueguen un papel importante en el mejoramiento y sustentabilidad del cultivo de fresa, considerando que México cuenta con un amplio potencial para ser explorado, al encontrarse en el país una amplia gama de ecosistemas, se pueden encontrar HMA adaptados a diferentes zonas climáticas y con diversas funciones que pueden ser aprovechados en los diferentes cultivos de interés comercial como es el cultivo de fresa.

Capítulo VI. LITERATURA CITADA

- Aaby, K., Skrede, G., Wrolstad, R. (2005). Phenolic Composition and Antioxidant Activities in Flesh and Achenes of Strawberries (*Fragaria ananassa*). Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 18(53). pp. 4032-4040.
- Aguilera Gómez LI., Olalde Portugal V., Rubí Arriaga M., Contreras Alonso R. (2008). Micorrizas arbusculares. CIENCIA ergo. Vol. 14(3). pp. 300-3006.
- Amador García KA. (2008). La ventaja revelada de exportación de la fresa mexicana, su estructura productiva e índices de protección. Tesis Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. pp. 1-118.
- Alarcón A., Ferrera Cerrato R., González Chávez MC., Villegas Monter A. (2000). Hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas. TERRA Latinoamericana. Vol. 18(3). pp. 211-218.
- Alarcón A. (2001). Comentario: Actualización de la taxonomía de los *Glomales*. TERRA Latinoamericana. Vol. 19(001). pp. 103-104.
- Alarcón A. y 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. Vol. 21(1). pp. 91-99.
- Árciga García F. (2008). Selección de plantas hospederas adecuadas para producción de inoculo de Hongos formadores de Micorrizas Arbusculares por el método de cultivo en macetas. U.M.S.N.H.

- Arroyo J., Bonilla P., Ráez E., Barreda A., Huamán O. (2010). Efecto quimioprotector de *Bidens pilosa* en el cáncer de mama inducido en ratas. Facultad médica. Vol. 71(3). pp. 153-159.
- Astrid Garzón G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. Acta Biológica Colombiana. Vol. 13(3). pp.27-36.
- Bago B., Pfeffer P., Shachar-Hill Y. (2000). Carbon Metabolism and Transport in Arbuscular Mycorrhizas. Plant Physiology. Vol. 124(3). pp. 949-958.
- Bagyaraj DJ., Sreeramulu KR. (1982). Preinoculation with VA mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer. Plant and Soil. Vol. 69. pp. 375-381.
- Barbazán M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/AnPlantas.pdf>
- Baslam M., Garmendia I., Goicochea N. (2009). Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Improved Growth and Nutritional Quality of Greenhouse-Grown Lettuce. Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 59. pp. 5504-5515.
- Basu A., Rhone M. (2010). Berries: emerging impact on cardiovascular health. Nutrition. Vol. 68(3). pp. 168-177.
- Bin S. (2009). Analysis of vitamin C in commercial fruit juices by iodometric titration. Final year project report submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of bachelor of science chemistry. Faculty of applied sciences, University Teknologi MARA.

- Beltrán A., Ramos M., Alvarez M. (2010). Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C). Tecnológica ESPOL-RTE. Vol. 23(2). pp. 17-24.
- Bondre S., Pallavi O., Amaraja K., Pillai M. (2012). Study on isolation and purification of anthocyanins and its application as pH indicator. International Journal of Advanced Biotechnology and Research. Vol. 3(3). pp. 698-702.
- Buendía B., Gil M., Tudela J., Gady A., Medina J., Soria C., López J., Barberán F. (2010). HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolic in 15 strawberry cultivars. Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 14(58). pp. 3916-3926.
- Bushra S., Farooq A. (2007). Flavonols (Kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits, vegetables and medicinal plants. Food Chemistry. Vol. 18(3). pp. 879-884.
- Cano Morales TM., Cano Díaz EJ., De León Morán TM., Godínez Lemus JE., Barrientos García M., Saravia Molina JM., Mérida Meré MJ., Guerrero Gutierrez EM., Portillo García MA., Barrera García GF. (2007). Estudio Tecnológico sobre los Tintes Naturales extraídos de la Corteza de Tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para tener fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado. Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 1-91.
- Carvalho André., Castro Tavares Rodrigo., Cordoso Irene Maria., W. Kuyper Thomas (2010). Mycorrhizal Associations in Agroforestry Systems. Soil Biology and Agriculture in the Tropics. Vol. 21. pp. 185-208.
- Carvajal LM., Yahia H., Cartagena R., Peláez C., Gaviria C., Rojano BA. (2012). Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston)

Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. Revista Cubana de Plantas Medicinales. Vol. 17(1). pp. 37-53.

- Casierra Posada F., Vargas Y. (2007). Crecimiento y producción de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por encharcamiento. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 1(1). pp. 21-32.
- Casierra* Posada F., Pena Olmos JE., Ultrichs CH. (2011). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria sp.*) afectadas por la calidad de la luz: implicaciones agronómicas. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. Vol. 14(2). pp. 43-45.
- Casierra** Posada F., Pena Olmos JE., Vargas Martínez AF. (2011). Propiedades fisicoquímicas de fresas (*Fragaria sp.*) cultivadas bajo filtros fotoselectivos. Facultad Nacional de Agronomía, Mendellín. Vol. 64(2). pp. 6221-6228.
- Casierra**** Posada F., García Riaño N. (2006). Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por estrés salino. Facultad Nacional de Agronomía. Vol. 59(2). pp. 3527-3542.
- Castillo C., Ortiz C., Borie F., Rubio R. (2009). Respuesta de Ají (*Capsicum annum* L.) cb. "Cacho de cabra" a la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares. Información Tecnológica. Vol. 20(4). pp. 3-14.
- Charron G., Furlan V., Bernier M., Doyon G. (2001). Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae. Part I. Effects of inoculation method and phosphorus fertilization on biomass and bulb firmness. Mycorrhiza. Vol. 11(4). pp. 187-197.
- Chávez Ramos M. (2011). Evaluación de la actividad antihipertensiva de nutraceuticos de fresa silvestre y comercial. Tesis de maestría. Centro

Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN-Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán.

- Cheel J., Theduloz C., Rodríguez J., Caligari P., Schmeda G. (2007). Free radical scavenging activity and phenolic content in achenes and thalamus from *Fragaria chiloensis* ssp. *Chiloensis*, *F. vesca* and *F. x ananassa* cv. Chandler. Food Chemistry. Vol. 102(1). pp. 36-44.
- Chuan Guang Q., Yang L., Weining N., Yan D., Xiaoya S., Chunlan X. (2011). Composition Analysis and Structural Identification of Anthocyanins in Fruit of Strawberry. Czech Journal of Food Sciences. Vol. 29(2). pp. 171-180.
- Coba M. (2009). Rescate de *Fragaria Chiloensis* var. Huachi Especie de Frutilla en Peligro de Extinción, a Través de la Técnica de Cultivo in vitro Utilizando Meristemas y Hojas [en línea]. Tesis Ingeniería. Escuela Politécnica del Ejercito, Sangolquí.
- CONAFRE (2007). Sistema Producto Fresa. Disponible en: [http://conafresa.com/plan_rector.pdf]
- CONAFRESA (2011). Sistema Producto Fresa. Disponible en: http://conafresa.com/plan_rector.pdf
- Chihuailaf RH., Contreras PA., Wittwer FG. (2002). Patogénesis del estrés oxidativo: Consecuencias y evaluación en salud animal. Veterinaria Mexicana. Vol. 33(3). pp. 265-283.
- Crespo P., Giné J., Terry LA., Carlen C. (2010). Characterisation of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. Food Chemistry. Vol. 122. pp. 16-24.

- Criado Dabrowska C., Moya Mir MS. (2009). Vitaminas y antioxidantes. Universidad Autónoma de Madrid. pp. 5-34.
- De la Rosa Mera CJ. (2009). Micorriza arbuscular y estrés abiótico en el contenido de alcaloides (Vinblastina y vincristina) de *catharantus roreus* (L). G. Don. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Díaz Franco A., Garza Cano I. (2007). Crecimiento de genotipos de sorgo y cártamo asociados a la colonización micorrízica arbuscular en suelo con baja fertilidad. Universidad y Ciencia Tropico Humedo. Vol. 23(1). pp. 15-20.
- Díaz Franco F., Garza Cano I., Pecina Quintero V., Montes García N. (2008). Respuesta del sorgo a micorriza arbuscular y azospirillum en estrés hídrico. Fitotecnia. Vol. 31(1). pp. 3-9.
- Escamilla Jiménez CI., Cuevas Martínez EY., Guevara Fonseca J. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. Facultad de Agronomía, Medellín. UNAM. Vol. 52(2). pp. 72-75.
- Escorza Quintanar MA., Calderón Salinas JV. (2009). La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. Revista de Educación Bioquímica. Vol. 28(3). pp. 89-101.
- Eskandari A., Danesh R. (2010). Study on life cycle of arbuscular mycorrhizal Fungus *Glomus Intraradices* using in vitro culturing technique. Journal of Phytology. Vol. 2(6). pp. 69-75.
- Eurosemillas (2009). Variedades de fresa. Disponible en: <http://www.eurosemillas.com/?ids=528&subseccion=179>

- FAO (2012). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Capítulo 5 Calidad en frutas y hortalizas. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s08.htm>
- Fredes C. (2009). Antioxidantes en berries nativos chilenos. Rev. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. Vol. 8(6). pp. 469-478.
- Fitze D., Wiepning A., Kaldorf M. (2005). Auxins in the development of an arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize. Journal of Plant Physiology. Vol. 162. pp. 1210-1219.
- Gadkar V., Schwartz RD., Kunik T., Kapulnik Y. (2001). Arbuscular Mycorrhizal Colonization. Factors Involved in Host Recognition. Plant Physiology. Vol. 127. pp. 1493-1499.
- Guerra Sierra BE. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha. Vol. 21(1). pp. 191-201.
- Gimeno Creus E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. OFFARM. Vol. 26(6). pp. 80-84.
- Gómez Zeledón J., Jiménez V. (2011). Producción in vitro de antocianinas. Rev. Acta Biológica Colombiana. Vol. 16(1). pp. 3-20.
- Gutiérrez Abejón E., Gómez Rodolfo F., Herreros Veiga P. (2004). Efectos de los antioxidantes en la prevención de patologías cardiovasculares. Biociencias. Vol. 2. pp. 1-12.
- Harrison MJ. (2005). Signaling in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Microbiology. Vol. 59. pp. 19-42.

- Harris Valle C., Esqueda M., Valenzuela Soto EM., Castellanos AE. (2009). Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Fitotecnia Mexicana*. Vol. 32(4). pp. 265-271.
- Howard LR., Smith RT., Wagner B., Burns EE. (1994). Provitamin A and Ascorbic Acid Content of Fresh Pepper Cultivars (*Capsicum annum*) and Processed Jalapeños. *Journal of Food Science*. Vol. 59(2). pp. 362-365.
- IICA (1999). Los productos Nutraceuticos Oportunidades para los Recursos Naturales. Disponible en: http://infoagro.net/shared/docs/a5/productos_nutraceuticos.pdf
- IMNC (2008). Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C. (2008). Sistemas de gestión de la calidad- Requisitos. Disponible en: <http://www.calidad.uady.mx/resources/nosotros/Normalso90012008.pdf>
- Jaizme Vega MC., Rodríguez Romero AS. (2008). Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las islas canarias. *Agrociencia*. Vol. 3(1). pp. 33-39.
- Joublan JP., Vergara M. (2003). Desarrollo vegetativo y productivo de la frutilla (*Fragaria x ananassa Duch.*), utilizando una cubierta de agrotexil de diferentes densidades. *Agro sur*. Vol. 31(1). pp. 37-47.
- Juge C., Coughlan AP., Fortin JA., Piché Y. (2009). Growth and branching of asymbiotic, presymbiotic, and extraradical AM fungal hyphae: clarification of concepts and terminology. pp. 39. In Autores del libro: Khasa D., Piché Y., Coughlan In book: *Advances in Mycorrhizal Science and Technology*. Editor: P.B. Cavers (University of Western Ontario). pp. 1-193.

- Kaya C., Higgs D., Tas I. (2003). Responses of drip irrigated bell pepper to water stress an different nitrogen levels with or without mulch cover. *Journal of Plant Nutritional*. Vol. 26(1). pp. 263-296.
- Khalil Gardezi A., Cetina Alcalá VM., Ferrera Cerrato R., Velásquez Mendoza J., Pérez Mercado CA., Larqué Saavedra M. (2001). Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biologico de la pudrición causada por *Fusarium sp* en Gladiola. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 19(003). pp. 259-264.
- Karadeniz F., Burdurlu HS., Koca N., Soyer Y. (2005). Antioxidant Activity of Selected Fruits and Vegetables Grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 29. pp. 297-303.
- Kops J., Van Hall HC. (1844). *Flora batava of Afbeelding. Beschrijving van Nederlandsche Gewassen*. Vol. 8.
- Kuskoski E., Asuero AG., García MC., Troncoso AM., Fett R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 24(4). pp. 2-11.
- Klopotek Y., Otto K., Böhm V. (2005.) Processing Strawberries to Different Products Alters Contents of Vitamin C, Total Phenolics, Total Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 13(53). pp. 5640-5646.
- López* Pérez L., Cárdenas Navarro R., Lobit P., Martínez Castro O., Escalante Linares O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponia. *Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28(002). pp. 171-174.
- López Moctezuma H., Ferrera Cerrato R., Farias Larios J., Aguilar Espinosa S., F. Bello MR., López Aguirre JG. (2005). Micorriza arbuscular, *Bacillus* y sustrato

enriquecido con vermicomposta en el desarrollo de plantas de papayo. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 23(1). pp. 523-531.

- Manjarrez Martínez MJ., Alarcón A., Ferrera Cerrato R. (2005). Fertilización foliar en plantas de *Annona cherimola* Mill., inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 23(4). pp. 553-562.
- Mayor Oxilia R. (2010). Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante. Instituto de Medicina Tropical de São Paulo. Vol. 5(2). pp. 23-29.
- Martínez Bolaños M., Nieto Angel D., Téliz Ortiz D., Rodríguez Alcazar J., Martínez Damian Ma. T., Vaquera Huerta H., Carrillo Mendoza O. (2008). Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa Duch.*) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. Vol. 14(2). pp. 113-119.
- Martínez LB., Pugnaire, FI. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos fromadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos de los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*. Vol. 18(2). pp. 44-54.
- Martínez Flórez S., Gonzáles Gallegos J., Culebras JM. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 17(6). pp. 271-278.
- Meyers K., Watkins B., Pritts M., Hai R. (2003). Antioxidant and Antiproliferative Activities of Strawberries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. Vol. 5(51). pp. 6887-6892.
- Mena H., Ocampo O., Esqueda M., Dendooven L., Martínez G., González J., Davies F., Olalde V. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth

and quality of chile ancho (*Capsicum annum* L. cv. San Luis) plants exposed to drought. Mycorrhiza. Vol. 16(1). pp. 261-267.

- Miller G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry. Vol. 31(3). pp. 426-428.
- Mirabal Alonso LA. (2004). Microbiota endógena del Hongos Micorrizógeno Arbuscular *Glomus clarum*. Tesis Maestría. La Habana. Disponible en: <http://bivia.inca.edu.cu/document/pd/TME0401.pdf>
- Montero L., Duarte C., Cun R., Cabrera J. (2010). Efectividad de biofertilizantes micorrizicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. Cultivos Tropicales. Vol. 31(2). pp. 11-14.
- Montero T., Moallá E., Esteban R., López F. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. Scientia Horticulturae. Vol. 65(4). pp. 239-250.
- Nadheesha KF., Bamunuarachchi A., Edirisinghe E., Weerasinghe M. (2007). Studies on antioxidant activity of indian gooseberry fruit and seed. Journal of Science. Universidad of the Kelaniya. Vol. 3. pp. 83-92.
- Nijveldt R., Nood E., Hoorn D., Boelens P., Norren K., Leeuwen P. (2001). Flavonoids; a review of probable mechanisms of action and potential applications. The American Journal of Clinical Nutrition. Vol. 74. pp. 418-425.
- Oancea S., Oprean L. (2011). Anthocyanins, from biosynthesis in plants to human health benefits. Food Technology. Vol. 1. pp. 3-16.

- Ochoa Meza A., Esqueda M., Fernández Valle R., Herrera Peraza R. (2009). Variación estacional de Hongos Micorrízicos Arbusculares Asociados con *Agave angustifolia* Haw. *Fitotecnia Mexicana*. Vol. 32(3). pp. 189-199.
- OMS/FAO (2003). *Dieta, Nutrición y Prevención de Enfermedades Crónicas*. OMS, Serie de Informes Técnicos 916. Ginebra.
- Padilla FC., Rincón AM., Bou-Rached L. (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 58(3). pp. 303-308.
- Paladino SC. (2006). *Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinífera* L.)*. Tesis Maestría. Universidades Nacionales de Cuyo, La Rioja, San Juan y San Luis. Disponible en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2627/tesispaladino.pdf
- Panico A., Garufi F., Nitto S., Di Mauro R., Longhitano R., Magri G., Catalfo A., Serrentino M., De Guidi G. (2009). Antioxidant activity and phenolic content of strawberry genotypes from *Fragaria x ananassa*. *Pharmaceutical Biology*. Vol. 47(3). pp. 203–208.
- PATH (2009). *La creciente carga de las enfermedades crónicas: Implicancias para la salud reproductiva*.
- Pedraza Santos M., Contreras DJ., Gutiérrez Espinosa A., Colinas León T., López Peralta C. (2005). Crecimiento y nutrición de microplantas de gerbera inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. *Agrociencia*. Vol. 35(002). pp. 149-158.
- Peña Varela G., Salinas Moreno Y., Ríos Sánchez R. (2006). Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus*

Idaeus L.) con diferente grado de maduración. Revista Chapingo. Serie horticultura. Vol. 12(002). pp. 159-163.

- Pineli L., Moretti C., Santos M., Campos A., Braseleiro A., Córdova A., Chiarello M. (2011). Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. Journal of Food Composition and Analysis. Vol. 24(1). pp.11-16.
- Ramirez Gómez H. (2011). Sistemas de producción de fresa de altas densidades. Tesis maestría. Colegio de postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Edo. México.
- Ramírez Gómez M., Rodríguez Villate A. (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol. 11(1). pp. 53-60.
- Ramírez Padrón LC. (2010). Cadena de valor en la producción de fresa en Zamora, Michoacán. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Rebolledo, H. (1999). SAS en microcomputadora, análisis estadístico de datos experimentales. 8va edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp. 175.
- Restrepo A., Cortés M., Rojano B. (2008). Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) fortificada con vitamina E [en línea]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/496/49611945018.pdf>
- Reyes Muñoz M., Lavín Acevedo (2003). Fresas: variedades japonesas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación

Raihuén. Gobierno de Chile. Disponible en:
<http://www.inia.cl/medios/raihuen/Digital/10.pdf>

- Rivera Espinoza R., Martín Cardenas JV., Claderón Puig A., Torres Hernández A. (2011). Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos Tropicales*. Vol. 32(2). pp. 172-183.
- Rodríguez Bautista G. (2010). Capacidad de multiplicación, productividad e indicadores de calidad de consumo de nuevas variedades mexicanas de fresa. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México.
- Rodríguez Y. (2005). Aspectos relacionados con las bases bioquímicas de la simbiosis micorrízica arbuscular. *Cultivos Tropicales*. Vol. 26(1). pp. 11-19.
- Rodríguez Y., Fernández A., Solórzona E., Peteira B., Fernández F. (2006). Inducción de enzimas de defensa en dos variedades de arroz (*Oryza sativa*) por el hongo micorrízico arbuscular *G. mosseae*. *Revista Colombiana de Biotecnología*. Vol. 2(1). pp. 35-49.
- Rubí Arriaga M., Olalde Portugal V., Reyes Reyes BG., González Huerta A., Aguilera Gómez LI. (2009). Influencia de *Glomus fasciculatum* en el crecimiento y desarrollo de *Lilium* sp. Cv. Orange Pixie. *Agricultura Técnica en México*. Vol. 35(1). pp. 201-210.
- SAGARPA (2009). Oportunidades de Mercado para Estado. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/_layouts/mobile/dispsform.aspx?List=3b6c15ee-1f6b-4773-9ff2-9323e5b96544&View=5527067c-fb0e-4184-9392-1fc81d90a959&ID=29

- SAGARPA (2010). Catálogo nacional de variedades vegetales (C.N.V.V.) Disponible en: <http://snics.sagarpa.gob.mx/somos/Documents/CNVV%202010.pdf>
- SAGARPA (2012). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca- fresa (*Fragaria x ananassa, Dutch*)-Especificaciones y método de prueba (Cancela a la NMX-FF062-1987). Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/90/NMX_FRESA.pdf
- Salinas Moreno Y., Almaguer Vargas G., Pena Varela G., Ríos Sánchez R. (2009). Ácido elágico y perfil de antocianinas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. Revista Chapingo. Serie Horticultura. Vol. 15(1). pp. 97-101.
- Salinas Moreno Y., Rojas Herrera L., Sosa Montes E., Pérez Herrera P. (2004). Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia. Vol. 39(1). pp. 385-394.
- Sánchez Rodríguez (2008). La red de Valor fresa. Sistema de inteligencia de Mercados, Fundación Produce Michoacán, A.C. El Cluster Agroindustrial de Zamora. La red de valor de fresa. pp.18.
- Sánchez J. (2009). Efecto de la quercetina y la rutina frente al daño oxidativo inducido en eritrocitos con distintos contenidos de colesterol [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. España.
- SAS (1992). Proprietary Software Release 6.04, licenced to Colegio Posgraduados, site 1339 6001. Estados Unidos: SAS Institute.

- Sharmah D., Jha DK., Pandey RR. (2010). Molecular Approaches In Arbuscular Mycorrhizal Research: A Review. *Journal of Phytology*. Vol. 2(7). pp. 75-90.
- SIAP (2012). Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera.
- SIAP (2012*). Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera.
- Simirgiotis M., Theodulotz C., Caligari P., Schmeda G. (2008). Comparison of phenolic composition and antioxidant properties of two native Chilean and one domestic strawberry genotypes. *Food Chemistry*. Vol. 113(2). pp. 377-385.
- Shokaeva DB. (2005). The influence of plant development peculiarities and environmental conditions on fruiting and yield height of differing short-day strawberry genotypes. *Fruit Science*. Vol. 222. pp. 117-123.
- Steiner AA. (1961). A universal method preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. Vol. 15(2). pp. 134-154.
- Tapia Goné JJ., Ferrera Cerrato R., Varela-Fregoso L., Rodríguez Ortiz JC., Soria Colunga JC., Tiscareño Iracheta MA., Loredó Osti C., Alcalá Jáuregui J., Villar Morales (2010). Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). *Revista Mexicana de Micología*. Vol. 31. pp. 69-74.
- Tenorio López FA., Valle Mondragón L., Pastelín Hernández G. (2006). Los flavonoides y el sistema cardiovascular: ¿Pueden ser una alternativa terapéutica?. *Instituto Nacional de cardiología*. pp. 4-33.
- Trejo D., Ferrera Cerrato R., García R., Varela L., Lara L., Alarcón A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en

plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. 84(1). pp. 23-31.

- Tulipani S., Mezzetti B., Capocasa F., Bompadre S., Beerwilder J., Rich de Vos H., Capanoglu E., Bovy A., Battino M. (2008). Antioxidants, Phenolic Compounds, and Nutritional Quality of Different Strawberry Genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. *Food Chem*. Vol. 56(1). pp. 696-704.
- Van der Heijden MGA., Klironomos JN., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf R., Boller T., Wiemken A., Sanders IR. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Rev. Nature*. Vol. 396. pp. 69-72.
- Varela L., Trejo D. (2001). Los Hongos Micorrizógenos Arbusculares como Componentes de la Biodiversidad del Suelo de México. *Acta Zoológica Mexicana*. Vol. 1. pp. 39-51.
- Vázquez Gálvez G., Flores Magallón R., Ceja Torres LF. (2009). Valoración de biofertilizantes de fabricación casera en el crecimiento y producción del cultivo de la fresa. *Estudios de la Ciénega. Transdisciplinary Journal for Development*. Vol. 10(20). pp. 141-157.
- Wolfe K., Kang X., He X., Dong M., Zhang Q., Liu R. (2008). Cellular Antioxidant Activity of Common Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 56(18). pp. 8418-8426.
- Zapata LM., Gerard L., Davies C., Schavab MC. (2007). Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. Vol. 35. pp. 175-193.

- Zhang T., Tian CY., Sun Yu., Bai D., Feng G. (2012). Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemeral plants in Gurbantunggut Desert. *Journal of Arid Land*. Vol. 4(1). pp. 43-51.
- Zepeda Guzmán S., Ambriz Enrique P., Dasgupta Schuber D., Villegas Moreno A. (2010). Efecto de la interacción *Glomus intraradices* Nitrógeno sobr el pH, acumulación de fósforo y desarrollo de *Tagetes erecta* L. bajo condiciones de agobio hídrico. *Biológicas*. Vol. 12(1). pp. 52-56.

ANEXOS: Fotografías del trabajo experimental



