

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Evaluación de micorrización y esporulación en el cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) en las variedades Western y Wichita.

POR:

GUADALUPE JANETH LÓPEZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación de micorrización y esporulación en el cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) en las variedades Western y Wichita.

POR:

GUADALUPE JANETH LÓPEZ HERNÁNDEZ

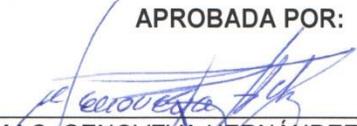
TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ ZAMUDIO

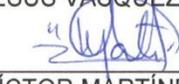
VOCAL:


DR. ANGEL LAGARDA MURRIETA

VOCAL:

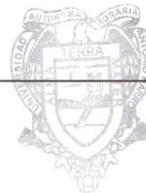

DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

VOCAL:


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación de micorrización y esporulación en el cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) en las variedades Western y Wichita.

POR:

GUADALUPE JANETH LÓPEZ HERNÁNDEZ

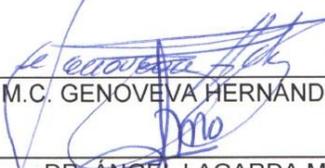
TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL COMITÉ DE ASESORES, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

COMITÉ PARTICULAR

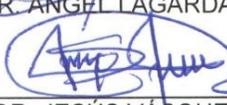
ASESOR
PRINCIPAL


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ ZAMUDIO

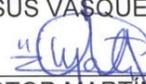
ASESOR

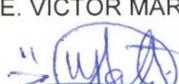

DR. ÁNGEL LAGARDA MURRIETA

ASESOR


DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

ASESOR


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Amaras a dios sobre todas las cosas ese es el primer mandamiento que nos rige como católicos... y es por eso que dios siempre estará en primer lugar en mi vida, siempre te doy y daré gracias mi padre dios por haberme dado la vida y siempre en el transcurso de estos 22 años me has mantenido con salud para poder lograr los objetivos que me propuse como es terminar una carrera y poder llegar a ser alguien en la vida gracias a tus bendiciones miles y millones de veces te presentaste para apoyarme cuando estaba sola, cuando algún problema, cuando no sabía cómo salir de esa situación tu siempre estas acá conmigo dándome la mano papa dios, en personas, cosas con cualquier cosa echabas de mano para que en ellos actuaras y así poderme ayudar y salir de esos tropezones que siempre existen, te agradezco de todo corazón por esa madre que tu escogiste para mí, es hermosa por dentro y por fuera tu nunca te equivocas, gracias por mis hermanos que en lo que han podido allí están para apoyarme gracias por permitir que mi hermano aun este acá a nuestro lado disfrutando de la vida, gracias por la familia que tengo de sangre y no de sangre, gracias y miles de gracias por la familia que me permitiste construir Hernán Antonio Pérez Bartolón y Axel Antonio Pérez López LOS AMO que con tus bendiciones podamos estar toda la vida juntos.

Virgen de Guadalupe: Mi virgen morena gracias por siempre estar al pendiente de mí que desde allá arriba en el cielo tú la madre del creador nos cuidas, nos iluminas nos mandas tú bendición y que cuando la noche empieza a

caer y las luces se empiezan a encender se ilumina de estrellas toda la constelación pues la cubres con tú manto la virgen de México, virgen morena gracias por darnos un día más por tu bendición mi virgen morena.

A mi Madre: Esa hermosa mujer que nunca se rinde que siempre está de pie y nunca la veraz caída, ese mujer a la que le debo la vida, la salud y todo lo que soy, siempre me enseñó a valorar la vida y lo poco que pudiera tener a mi alrededor, me enseñó el valor de amar a dios y a la virgen sobre todas las cosas y en consecuencia el valor que tiene el amarse como familia, mi vida está llena de valores, virtudes, ganas de luchar, saber querer, a nunca envidiar nada y nunca dejarme caer gracias a mi madre Gloria López Hernández te doy gracias porque siempre me has demostrado tu amor, tu cariño, comprensión, apoyo y consejos.

Hernán Antonio Pérez Bartolon: Por la paciencia que has tenido conmigo, por tu apoyo, por tu amor, por tu comprensión, por tus palabras de aliento, porque nunca me dejaste remar sola, por darle un giro nuevo y el más hermoso de mi vida que es mi hijo Axel Antonio Pérez López eres lo mejor de mi vida hermoso, eres mi motivación, mi razón de ser, mi todo flaco si tú no estás mi vida no tiene sentido gracias a ti lucho día con día para ser cada día mejor persona y un buen ejemplo para ti siempre estaré junto a ti para cuidarte y apoyarte, gracias porque dios los puso en mi vida, en mi camino en el lugar y momento preciso, siempre quiero que luchemos y logremos nuestros sueños juntos Los amo.

A mis hermanos: José Alfredo Jiménez López y Leydi del Carmen Jiménez López siempre serán mi ejemplo a seguir para poder lograr algo en la vida, les doy

gracias por el tiempo que me dedicaron para cuidarme y apoyarme desde mi niñez hasta hoy en día, por aquellas veces en la cuales no le entendía a mi tarea y ustedes me ayudaban, porque siempre pude contar con ustedes y por el amor que me demuestran LOS AMO.

A mis Abuelos: Agradezco de todo corazón a mis abuelos Reynol López Gordillo y Tomasa Hernández de los Santos por sus apoyo, por sus consejos, por el cariño y amor que me demuestran cada vez que puedo estar cerca de ustedes, siempre estuvieron presente apoyándome en lo mucho o poco que podían en este recorrido para poder obtener mi profesión, les agradezco porque aún siguen luchando y gracias a dios hoy en día aún pueden estar acá en lo terrenal a nuestro lado.

A mis Tíos, Tías, Cuñadas y Suegra: Les agradezco por el apoyo que recibí de ustedes, les agradezco porque siempre estuve presente en sus oraciones de cada día, y que gracias a sus valiosas oraciones estoy bien, librando los peligros de la vida y logrando concluir un propósito más en mi vida, gracias por sus bendiciones hacia mi persona y la de mi nueva familia.

A mi prima Clara López Martínez: Porque se tomó su tiempo para dejar las cosas que a ella le preocupaban por cuidar a mí bebe sin su apoyo las cosas se me hubiesen complicado, siempre estaré agradecida contigo te quiero prima eres muy especial para mí y mi familia dios te bendiga.

A mis hermanos aunque no lo sean de sangre: Laura Ramón Vicente le agradezco a Dios por que hace cuatro años en el primer día que pisaba a mi

hermosa mater te puso justamente atrás de mí en la fila y desde ese momento con unas pequeñas palabras que cruzamos bastaron para que el inicio de una hermosa amistad surgiera, gracias por brindarme tu amistad vieja, por tu apoyo en cualquier momento, por tu cariño, por tus locuras, por tus regaños, por las parrrty, infinitas gracias y bendiciones para tu persona, no tengo palabras para agradecerte todo lo que nos apoyaste, por las veces que tuviste que venirte de Valle verde a la Fidel por venir a venir jijij I love you vieja.

Eusebio Sánchez Sánchez: Gracias por brindarme tu amistad, apoyo cariño, comprensión para mí son más que unos amigos, junto ustedes he disfrutado los mejores momentos de mi vida en el transcurso de mi preparación profesional, me regalaste alegrías con tus locuras, me apoyaste en los momentos más difíciles que pude tener, gracias por siempre estar al pendiente de mí, por preocuparte cuando me enfermaba o tenía alguna preocupación, no tengo palabras para agradecerle todo lo que me brindaron.

Yoni Pérez Verdugo: por tu amistad que me brindaste, por tu cariño, por la confianza que me demostraste, por apoyarnos y demostrarle cariño a tu primito Axel por cuidarlo, por las alegrías y festejos que compartiste a nuestro lado. Dios te bendiga y te siga colmando de bendiciones y salud.

Niseldi Vázquez Ruiz: por tu amistad porque permitiste darte tu tiempo para convivir con nosotros, gracias por regalarnos momentos bonitos de risa de chistes etc. Esto es algo surrealista jajaaj.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna: Por todo el apoyo que me brindaste a mi llegada, por lo bien que me recibiste desde el principio, por la enseñanzas y valores que adquirí de ti. Siempre estarás en mi mente mejor que tu no hay en ningún lado también te llevare en mi corazón porque gracias a ti me permitiste conocer personas muy valiosas y especiales en mi vida, que al igual que tu llegaron a formar parte de mi familia, en cualquier ocasión pondré tu nombre en alto y con mucho orgullo seré POR SIEMPRE buitre mi alma terra mater, arda troya y en combate muera marte, buitres, buitres al ataque.

Departamento de Agroecología: Gracias por los profesores que me proporcionaste quienes fueron mis guías, inspiraciones y amigos en el desarrollo de mi profesión en lo teórico y práctico. Les agradezco por todo lo que me brindaron en este proceso de mi formación.

Con mucho agradecimiento y cariño a la M. C. Genoveva Hernández Zamudio: por su paciencia, por su apoyo ya que sin la mano que usted me tendió se me hubiera complicado este proceso de preparación, por su amistad, detalles y disposición que tubo conmigo durante este desarrollo y conclusión en el proceso de mi investigación, que en cada momento me apoyo cada que me surgía alguna inquietud o duda siempre estuvo apoyándome y fue un gran elemento para que yo pudiera adquirir mi título como Ingeniero en Agroecología, gracias por sus regaños porque gracias a eso luchábamos para ser mejores profesionistas y no conformarnos con cosas pequeñas, gracias a sus consejos hoy estoy a punto de

concluir un ciclo más en estas etapa de la vida dios la bendiga siempre y le de muchos más triunfos en su vida muchas gracias bióloga.

DR. Ángel Lagarda Murrieta: Por su apoyo, confianza y tiempo que me dedico en la realización de mi tesis, gracias por aportar ideas y realizarme las correcciones necesarias para que mi trabajo quedara lo mejor posible.

DR. Jesús Vázquez Arrollo: Mi motivación para luchar en este proceso, gracias por siempre llevar esa chispa de alegría, gracias por sus consejos, gracias por ponerme a trabajar en las cuestiones prácticas, gracias por brindarme su amistad y por llenarme de consejos, es aquel rayito de luz que ilumina a la carrera de Agroecología y siempre estaré agradecido con usted, gracias por sus aportaciones de conocimientos para poder realizar mi investigación.

M.E. Víctor Martínez Cueto: Porque desde el primer día que lo conocí me demostró su cariño, que podía confiar y contar con usted en cualquier circunstancia, gracias por tomarse su tiempo en revisar y hacer las correcciones necesarias para esta investigación, gracias porque la mejor etapa de mi vida que fue el nacimiento de mi bebe en cierta manera la pude compartir con usted, le agradezco por muchas cosas, no me ajustan las palabras para decirle lo agradecido que estoy con usted, siempre estará en mi mente.

M.C. Nora: Gracias por la paciencia, dedicación, motivación, cariño, confianza, esfuerzo que usted siempre demostró en cada y una de las materias que siempre pude tomar con usted, es una excelente persona y gracias a los valores que siempre nos recalca siempre seré mejor persona, gracias por esos

momentos que nos dedicó para convivir, platicar, aconsejarnos y por echarnos porras en relación a nuestra carrera.

DR. Amador: Porque siempre me demostró su cariño, aprecio y paciencia hacia mi persona, siempre me motivo a participar, exponer, explicar y gracias a estas prácticas me hizo adquirir seguridad y no temerle a expresarme en público, gracias por la ayuda y amistad que me brindo en mi proceso de universitaria.

ING. Federico Vega Sotelo: Por apoyarme en el transcurso de mi formación profesional, fue poco el tiempo en el que pude convivir con usted, pero en ese transcurso pude darme cuenta que es una excelente persona y un excelente catedrático, le agradezco por la paciencia y apoyo que me brindo en mi octavo semestre ya que la materia no era nada fácil para mí y gracias a su dedicación y paciencia pude entenderla y sacarla adelante.

Q.I Juan Carlos Mejía Cruz (laboratorio de suelos) Gracia por el apoyo, tiempo y dedicación que me brindo en laboratorio ya que sin este paso tan importante no se hubiera podido realizar mi investigación. Gracias por su confianza y amistad que nos demostró cada instante que estuvimos trabajando en su área.

A Mary secretaria de Agroecología: Por tenernos paciencia, por sus ganas de trabajar y la dedicación que tiene al hacer las cosas bien, gracias por tu amistad y el apoyo que siempre nos brindaste durante nuestra estancia en la carrera dios te bendiga a ti y a tu familia que se multipliquen y que siempre sean muy felices.

DEDICATORIAS

A Dios: Mi trabajo se lo dedico principalmente a mi padre dios porque él me guio, me fortaleció e ilumino mi camino para superar las situaciones no importando lo difícil que estuvieran. Me colmo de bendiciones en la realización de este proceso, y gracias a él pude culminarlo, Gracia Mi Dios por todo.

A la virgen de Guadalupe: Mi dulce madre porque nunca te alejas ni apartas tú vista de mí, siempre estuviste en todas partes conmigo y nunca sola me dejaste y siempre me proteges como una verdadera madre.

A mi Madre: Gloria López Hernández tú que te llevas todos los méritos de lo que soy, a ti a quien le debo la vida y todo lo demás. Gracias por tu apoyo, dedicación, amor, paciencia eres simplemente la mejor de todas.

A mis hermanos: José Alfredo Jiménez López y Leydi del Carmen Jiménez López: Por cuidarme, por creer en mí, porque nunca me soltaron de la mano, los amo y espero en Dios poder compartir con ustedes mejores momentos llenos de felicidad y amor.

A Hernán Antonio Pérez Bartolon y Axel Antonio Pérez López (flaco): Les dedico este logro, juntos lo logramos fundamentados principalmente de amor y paciencia, nuestro segundo logro como familia que ahora somos y ojala lo seamos hasta nuestro último aliento de vida, los amo mis vidas.

A mi suegra Edelmira Bartolón Roblero y cuñadas Merari Pérez Bartolón, Bany Pérez Bartolón, Valentina Pérez Bartolón, Dominga Pérez Bartolón, Aguida

Pérez Bartolon, María Guadalupe Morales Monjaraz por sus apoyos, consejos, por abrirme las puertas de sus casas cuando estamos cerca de ustedes, por confiar en nosotros, por motivarnos mil gracias.

A mis sobrinos Alfredo Alejandro Jiménez López y Alan Alfredo Jiménez Morales por iluminarme la vida con sus hermosos ojitos y sus hermosas sonrisas los amo dios me los bendiga.

A Laura ramón Vicente y Eusebio Guadalupe Sánchez Sánchez: Porque sabemos lo mucho que nos costó llegar en donde hoy estamos, porque juntos luchamos por un mismo objetivo, porque si en algún momento alguno se quería rendir siempre había una palabra de aliento junto a dos manos que te decían ánimo tú puedes, tú lo lograras.

Índice General

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.1.1. Objetivo específico	3
1.2. Hipótesis	3
II. LITERATURA REVISADA	4
2.1. Concepto general de las micorrizas	4
2.1.1. Importancia de las micorrizas	5
2.1.2. Los hongos HMA reducen la necesidad de fertilizantes de fosfato	5
2.1.3. Los hongos micorrízicos en la agricultura	6
2.1.4. Agroecología: el papel clave de las micorrizas arbusculares en los servicios de los ecosistemas	8
2.2. Factores ecológicos relacionados a la micorrización	10
2.2.1. Luz.....	10
2.2.2. Temperatura	11
2.2.3. Agua y Aireación	11
2.2.4. Suelos y Fertilidad	11
2.3. Taxonomía y clasificación de HMA	12
2.3.1. <i>Ectomicorrizas</i>	13
2.3.2. <i>Endomicorrizas</i>	13
2.3.3. <i>Orquidoides o micorrizas de ovillo</i>	14
2.3.4. <i>Ericoides</i>	14
2.3.5. <i>Ectendomicorrizas</i>	14
2.3.6. <i>Arbutoides</i>	14
2.3.7. <i>Monotropoides</i>	15
2.3.1. Micorrizas vesículo-arbúscular	15
2.3.2. Morfología del hongo dentro de la raíz	16
2.3.1.1. Hifas	16
2.3.1.2. Arbúsculos.....	16
2.3.1.3. Vesículas	17
2.4. Como se produce la simbiosis para formar micorrizas	17
2.4.1. Ciclo de vida de HMA.....	19
2.4.2. Esporas de HMA.....	20
2.4.3. Germinación de las esporas.....	21
2.4.4. Colonización	22
2.5.1. Clasificación taxonómica del nogal pecanero	24
2.5.2. Característica botánica del cultivo	25

2.5.3. Fenología del cultivo.....	29
2.5.3.1. Dormancia	29
2.5.3.2. Compensación de frío.....	29
2.5.3.3. Riego invernal	29
2.5.3.4. Brotación.....	30
2.5.3.5. Riego	30
2.5.3.6. Fertilización	30
2.5.3.7. Floración	31
2.5.3.8. Crecimiento de brote	32
2.5.3.9. Riego	32
2.5.3.10. Fertilización	32
2.5.3.11. Crecimiento y desarrollo del fruto	33
2.5.3.12. Crecimiento	33
2.5.3.13. Riego.....	34
2.5.3.14. Fertilización	34
2.5.3.16. Desarrollo	34
2.5.3.17. Caída del fruto	35
2.5.3.18. Madurez del fruto	35
2.5.3.19. Periodo vegetativo	35
2.5.3.20. Cosecha temprana.....	36
2.6. Requerimientos del cultivo	36
2.6.1. Nitrógeno.....	37
2.6.2. Fósforo.....	37
2.6.3. Potasio.....	38
2.6.4. Magnesio y Calcio.....	38
2.6.5. Hierro	39
2.6.6. Manganeso	39
2.6.7. Cobre	39
2.6.8. Boro.....	39
2.6.9. Zinc.....	40
2.6.10. Níquel	40
2.6.11. Análisis de suelo	40
2.7. Las micorrizas y el nogal pecanero	41
2.7.1. Beneficio de las micorrizas en el nogal pecanero.....	41
2.7.2. Especies de micorriza comúnmente asociadas a raíces de nogal.....	42
2.7.3. Características morfológicas, fisiológicas y composición química de raíces del nogal asociadas a <i>ectomicorrizas</i>	43
2.7.4. Formación de las <i>ectomicorrizas</i> en el nogal pecanero.....	44
2.7.5. Consecuencias morfológicas de la relación raíz- <i>ectomicorrizas</i> para promover un ambiente de intercambio de nutrientes en el nogal pecanero	45
2.7.6. Micorrización en <i>Carya. illinoensis</i>	46
III. Materiales y Métodos	48
3.1. Localización geográfica del área de estudio.....	48
3.2. Descripción del experimento	48

3.2.1 Recolección de muestras de suelo y raíz.....	48
3.2.1.1. Área A.....	48
3.2.1.2. Área b.....	48
3.3. Aislamiento de esporas e identificación de HMA	49
3.4. Conteo, montaje e identificación de esporas.....	49
V. Resultados.....	51
V. Discusión.....	57
VI. Conclusión	60
VII. Literatura Citada	61

Índice de cuadro

Cuadro 1: Resumen de las principales funciones que la simbiosis de HMA puede jugar como un proveedor de servicios de los ecosistemas.	10
Cuadro 2: Clasificación taxonómica del nogal pecanero (Aragón, 2004).....	24
Cuadro 3: Crecimiento del fruto del nogal pecanero (Godoy y López, 2000)	33
Cuadro 4: Fechas promedio del inicio de cuatro fases fenológicas del fruto de dos variedades de nogal (Godoy y López, 2000).....	35
Cuadro 5: Análisis físico y químico del suelo del nogal pecanero en la variedad Western.	51
Cuadro 6: Análisis físico y químico del suelo en el nogal pecanero variedad Wichita.	51
Cuadro 7: Número de esporas por muestra en 100 gramos de suelo en el cultivo del Nogal pecanero (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh K. Koch).	52
Cuadro 8: Géneros de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh K. Koch) en las variedades Western y Wichita.....	54

Índice de figuras

Figura 1: Clasificación de los HMA del orden <i>Glomales</i> (Coyne, 2000)	15
Figura 2: Vesículas, Arbusculos e Hifas (Hernandez, 1999; Roman, 2003)	17
Figura 3: Ciclo de vida de HMA (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse <i>et al.</i> , 1981; Morton y Benny, 1990).	19
Figura 4: Estructura morfológica de la HMA (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse <i>et al.</i> , 1981; Morton y Benny, 1990).....	20
Figura 5: Árbol del nogal pecanero (Aragón, 2004).....	25
Figura 6: Raíz pivotante del nogal (Aragón, 2004)	26
Figura 7: Tallo del nogal pecanero (Aragón, 2004)	26
Figura 8: Hojas jóvenes (Aragón, 2004).....	27
Figura 9: Hojas maduras (Aragón, 2004)	27
Figura 10: Fruta del nogal.....	28
Figura 11: Endocarpio y nuez (Brisson, 1992)	28
Figura 12: Esporas de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (<i>Carya Illinoensis</i> (Wangenh K. Koch) en la variedad Western.	55
Figura 13: Esporas de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (<i>Carya Illinoensis</i> (Wangenh K. Koch) en la variedad Wichita.....	56

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, con el objetivo de evaluar al Nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) en variedades Western y Wichita como hospedero de hongos micorrízicos arbusculares y al mismo tiempo identificar la diversidad de géneros de los HMA, en la rizósfera de (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch). Se muestrearon 14 plantas con frutos al azar de cada variedad a una profundidad de 30 centímetros. Se recolectó 500 g. de suelo y se procesó por el método de decantación húmeda y tamizado, se le realizó un análisis físico-químico del suelo, se observó la cantidad de esporas por muestra en 100g. de suelo en el cultivo por lo que cabe destacar que el valor más alto se encuentra en la muestra tres de la variedad Western con un valor de 1721 esporas y el valor más bajo se encuentra en la muestra seis también en la misma variedad con un valor de 486 esporas. En cuanto a la comparación de las dos variedades se encontró un mayor número de esporas en la variedad Wichita con un valor de 972. La identificación de esporas fue obtenida por sus características morfológicas obteniendo tres géneros (*Glomus*, *Sclerosistis*, *Acaulospora*) se considera un nivel alto de diversidad, las esporas de mayor dominancia fueron las *Glomus*. Las raíces presentaron un porcentaje de micorrización nulo ya que no se observaron estructuras del hongo en las células corticales de la raíz. Tuvo la apariencia de hifas, arbusculos y vesículas. La investigación se llevó a cabo en el mes de agosto-diciembre.

Palabras claves: Hongos Micorrízicos Arbusculares, Hospedero, Rizósfera, Suelo, *Carya illinoensis*, Diversity.

ABSTRACT

The present work was conducted in the University of Autónoma Agraria Antonio Narro Laguna Unit, with the aim of evaluating the nogal pecan (*Carya illinoensis*) (Wangenh) K. Koch) in varieties Western and Wichita as host of arbuscular mycorrhizal fungi and simultaneously identify the diversity of genre of AMF, in the rhizosphere (*Carya illinoensis*) (Wangenh) K. Koch. 14 plants were randomly sampled with fruits of each variety in different depths. 500 g. of soil was collected and processed by the method of wet sieving decantation, underwent a physical-chemical analysis of soil, the amount of spores was observed in 100 g. of soil sample in culture so noteworthy highest value is in the simple three of the Western variety worth 1721 spores and the lowest value is sampled six also in the same range with a value of 486 spores. As comparing the two varieties more spores in the variety Wichita with a value of 972. The identification of spores was obtained by obtaining its three genera (*Glomus*, *Sclerosistis*, morphological *Acaulospora*) is considered a high level of diversity; spores of *Glomus* were the most dominant. The floor has a zero percentage of mycorrhizal since it did not have hyphae, arbuscular and vesicles. The research was conducted in August-December.

Palabras claves: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Host Rhizosphere, Soil, *Carya illinoensis*, Diversity.

I. INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son asociaciones fundamentales en la optimización del desempeño de la planta y la calidad del suelo.(Smith y Lee, 2008). Son simbioses obligados que sólo pueden ser cultivadas en la presencia de sus hospederos (Van der Heijden *et al.*, 1998). Representan una ventaja para la producción de plantas tanto en aspectos cualitativos como cuantitativos, pues es conocido que esta simbiosis mejora las capacidades de exploración de la rizófora, absorción de agua y nutrientes (Koide y Mosse, 2004). La micorrización es un proceso particularmente importante en la fertilización biológica de las plantas, necesario en el contexto de la agricultura sostenible y de la producción orgánica (Alarcón y Ferrera, 2000).

Alrededor del 95% de las plantas terrestres forman simbiosis de tipo mutualista con ciertos hongos del suelo, estas simbiosis se producen en las raíces. Sin embargo las micorrizas arbusculares forman endomicorrizas con órganos en el interior de las células de la raíz (arbuscúlos), que están presentes en al menos en un 80 % de las especies vegetales terrestres de todo tipo incluyendo la mayor parte de los árboles y arbustos forestales y en todo tipo de ecosistemas (Schultz *et al.*, 1981).En lo que respecta a árboles frutales el nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) presenta estas simbiosis, este es uno de los principales cultivos en el norte del país (Brison, 1976). Para el año 2013 la superficie sembrada en hectáreas fue de 303, 866.46, la superficie

cosechada en hectáreas fue de 72,54.13 y la producción en toneladas que se consiguió fue de 106, 944.53 (SIAP, 2013).

Es de los pocos cultivos que han mantenido su rentabilidad en los últimos años, además de su importancia socioeconómica en el norte de México, es relevante desde el punto de vista de nutrición humana y generación de divisas. El valor de producción en el 2013 fue de 400,62 millones de pesos (SIAP, 2013).

Las primeras plantaciones de nogal en la región se establecieron en 1948 y en el 2005 el valor de la producción de nuez ocupa el primer lugar entre los frutales de la región, con un valor aproximado de 200 millones de pesos. Los estados productores más importantes son Chihuahua, Nuevo León y Sonora, que junto con Coahuila y Durango representan el 92 % de la producción nacional (SAGARPA, 2005).

En lo que respecta a las endomicorrizas varios estudios previos han puesto de manifiesto los efectos positivos de la inoculación sobre las características biométricas de plantas de nogal americano (*juglans nigra*) (Schultz *et al.*, 1981). Pero poca información se tiene de este frutal, sus variedades y los hongos micorrízicos arbusculares HMA.

Por lo anterior surge la necesidad de estudiar profundamente las diferencias en la diversidad de los HMA en dos variedades del cultivo del nogal. Western y Wichita.

1.1. Objetivo general

Evaluar y comparar la diversidad de los hongos micorrízicos arbusculares en cultivos del nogal pecanero entre las variedades Western y Wichita.

1.1.1. Objetivo específico

Estimar el porcentaje de esporulación de HMA en el cultivo de nogal pecanero variedad Wichita y Western.

1.2. Hipótesis

Existen micorrización y diversidad de esporas diferencial de acuerdo con el hospedero, Wichita contra Western.

II. LITERATURA REVISADA

2.1. Concepto general de las micorrizas

El origen de las micorrizas se remonta al periodo Devónico a partir del cual hongos y plantas evolucionaron hasta lo que son actualmente. El botánico alemán Albert Bernard Frank, en 1885 creó el término micorriza (*Mycos*-hongo, *Rhiza*-raíz) para designar la asociación que se presenta entre hifas de algunos hongos del suelo y las raíces de la gran mayoría de las plantas superiores. Algunos autores identifican a las micorrizas como “la asociación simbiótica entre determinadas especies de hongos del suelo y las raicillas (pequeñas raíces) de diferentes especies de plantas “. Es decir, dependencia entre hongo y raíz, unión armónica e íntima de ayuda mutua entre hongo y raicillas de la planta (De la Vega, 2006).

Los hongos micorrízicos arbusculares hoy en día se consideran como las raíces nutricias normales de la mayoría de las plantas, incluyendo cereales, hortalizas, plantas de ornato, y, por supuesto, los arboles (Agrios, 2002). Estos hongos se benefician con el suministro de fuentes carbonadas provenientes de la planta, mientras que esta última se beneficia por la mayor cobertura de suelo a nivel de raíces facilitada por los hongos, aumentando la capacidad de absorción de nutrientes minerales (especialmente los poco móviles como el fósforo) (Hermard *et al.*, 2002).

Además le imparten otros beneficios como: estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmóticos

cuando hay sequía, aumento de la fijación de nitrógeno por bacterias simbióticas o asociativas, incremento de resistencia a plagas, tolerancia a estrés ambiental, mejoran la agregación del suelo y son mediadores de muchas acciones e interacciones de la micro flora y micro fauna, que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces (Blanco y Salas, 1996).

2.1.1. Importancia de las micorrizas

Los HMA al parecer mejoran el crecimiento de la planta al aumentar la absorción del sistema radial (Agris, 2002). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que hay muchas asociaciones distintas que se establecen entre el hongo y su hospedante y que cada combinación puede tener efectos distintos sobre el crecimiento de la planta. Algunos hongos micorrízicos tienen un amplio rango de hospederos, mientras que otros son más específicos. Así mismos, algunos de ellos benefician el mayor grado a un determinado hospedante que otros hongos, y algunos hospederos sacan un mejor provecho al asociarse con ciertos hongos micorrízicos que con otros hospedantes. Los hongos micorrízicos arbusculares necesitan también a un hospedante para poder crecer y reproducirse; en ausencia de hospedantes, el hongo se mantiene en reposo en forma de esporas (Agris, 2002) (Barea *et al.*, 2002).

2.1.2. Los hongos HMA reducen la necesidad de fertilizantes de fosfato

El fosfato, es un nutriente mineral esencial para el crecimiento vegetal, es uno de los tres nutrientes minerales principales aplicados en la agricultura (Herring y Fantel, 1993). La aplicación excesiva de fertilizantes fosfatados es una

importante causa de la eutrofización del agua, y por lo tanto la mejora de la eficiencia de fosfato de absorción por las plantas es una prioridad. La red de micelio fúngico conectado a HMA aumenta raíces en varios órdenes de magnitud el volumen de suelo que pueden ser explorados por una planta de modo que una raíz micorrízica es más eficiente en la absorción de fosfato a una raíz no micorrizadas (Smith y Read, 2008). En condiciones de campo dado, se ha estimado que una reducción del 80% del fertilizante de fosfato recomendada podría complementarse con la inoculación con los hongos HMA (Jakobsen, 1995). Es evidente que tales reducciones en la aplicación de fosfato tienen importantes efectos económicos y ambientales.

2.1.3. Los hongos micorrízicos en la agricultura

El suministro de productos agrícolas y servicios de los ecosistemas son evidentes, sin embargo, las recientes prácticas agrícolas que han aumentado considerablemente han tenido efectos negativos involuntarios, sobre el medio ambiente y servicios de los ecosistemas. La alta intensidad de la agricultura se ha centrado principalmente en la productividad en lugar de integrar la gestión de los recursos naturales en la seguridad alimentaria de producción, mecanización, monocultivos, y un mayor uso de insumos sintéticos (fertilizantes químicos, pesticidas) que degradan la calidad del agua, la reducción de tierras cultivables y recursos forestales, y en el suelo la fertilidad (Foley *et al.*, 2005).

La agricultura es la mayor interacción entre los seres humanos y el medio ambiente, conciliando así la producción de cultivos y la integridad del medio

ambiente, en otras palabras, la producción sostenible de cultivos, es un gran desafío para la agricultura y los agricultores en el futuro (Robertson y Swinton, 2005). Esto implica la necesidad de desarrollar estrategias de manejo del cultivo que optimizan la fertilidad del suelo, la diversidad biológica y la solidez de los cultivos mediante la creación de las formas de los ecosistemas agrícolas que respetan los procesos ecológicos naturales y la productividad de apoyo a largo plazo (Altieri, 1995).

Los hongos micorrízicos arbusculares cumplen una función clave en la agricultura sostenible.

En el prefacio del libro *Mycorrhizae in sustainable agriculture* (Blanco y Salas, 1996), concluye que “si el objetivo es reducir los insumos químicos por razones ambientales y de salud, entonces se necesita restablecer los hongos micorrizógenos y otros microbios benéficos a un alto nivel de efectividad para compensar la reducción de insumos”. Esta estrategia coincide con el punto de vista de que el grado de empobrecimiento o desaparición de la micro flora AM (Micorrizas Arbusculares) es un indicador del descenso en estabilidad del sistema planta-suelo, de la misma forma que el nivel de estrés causado por las prácticas culturales que es una medida de sostenibilidad de la agricultura (Blanco y Salas, 1996).

Los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízicos resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de hongos HMA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables

para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo. La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo HMA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces (Hernandez, 1999).

2.1.4. Agroecología: el papel clave de las micorrizas arbusculares en los servicios de los ecosistemas

Los HMA, son capaces de establecer una interacción simbiótica con los órganos fundamentales de un 80% de las familias de plantas, se tienen también "no nutricionales" efectos en la estabilización de los agregados del suelo, en la prevención de la erosión (Smith y Read, 2008). Los efectos beneficiosos de los hongos AM sobre el rendimiento de la planta y la salud del suelo son esenciales para la gestión sostenible de los ecosistemas agrícolas (Jeffries *et al.*, 2003; Barrios, 2007). Sin embargo, desde la "primera revolución verde", menos atención se le ha dado a los microorganismos beneficiosos del suelo en general y, en particular, HMA.

Beneficios de la sociedad humana de una multitud de recursos y procesos de los ecosistemas naturales y gestionados, a la que HMA aportar una contribución decisiva. Estos recursos y procesos, que se denominan servicios de los ecosistemas, incluyen productos como los alimentos y procesos como la transferencia de nutrientes. Muchas personas han estado bajo la ilusión de que estos servicios de los ecosistemas son gratis, invulnerable e infinitamente

disponible, se da por sentado que los beneficios públicos, que carecen de un mercado formal y son tradicionalmente ausentes del balance de la sociedad. (Costanza *et al.*, 1997; Boyd y Banzhaf, 2007; Wallace, 2007; Fisher y Turner, 2008).

Aunque la mayoría de los servicios se encuentran fuera del mercado y son difíciles de calcular, las estimaciones mínimas iguales o superiores a producto nacional bruto mundial (Pimm, 1997).

En este contexto, los servicios de los ecosistemas prestados por la biota del suelo en el mantenimiento de la calidad del suelo, sanidad vegetal y la resistencia del suelo son muy pertinentes (Smith y Read, 2008). En particular, los microorganismos del suelo que forman relaciones mutuamente beneficiosas con raíces de las planta ofrecen una alternativa biológica para promover el crecimiento de las plantas y reducir los insumos en sistemas de cultivo sostenibles (Hart y Trevor, 2005). La ubicuidad de estos hongos en la interfaz entre el suelo y raíces de las plantas hace que un grupo clave funcional de la biota del suelo que por sus actividades nutricionales y no nutricionales influye profundamente en los procesos del ecosistema que contribuyen a los servicios de los ecosistemas en la agroecología. El manejo adecuado de los servicios de los ecosistemas prestados por AM tendrá un impacto en la conservación de los recursos naturales (para una revisión ver Cuadro 1).

Cuadro 1: Resumen de las principales funciones que la simbiosis de HMA puede jugar como un proveedor de servicios de los ecosistemas.

HMA función	Ecosistemas del servicio (s), siempre
Modificación de raíz de la morfología y el desarrollo de un complejo, se ramifica a la red de micelio en el suelo.	Aumentar la planta / suelo la adherencia y la estabilidad del suelo (acción de unión y la mejora de la estructura del suelo).
El aumento de nutrientes minerales y la absorción de agua por las plantas.	Promover el crecimiento de las plantas al tiempo que reduce los requerimientos de fertilizantes.
Protección contra los patógenos de la raíz.	El aumento de resistencia de las plantas frente a estreses bióticos y reducir la entrada fitoquímico.
Modificación del metabolismo de la planta y la fisiología.	Bioregulación de desarrollo de la planta y el aumento de la calidad de las plantas para la salud humana.

Recopilado de (Hart y Trevor, 2005)

2.2. Factores ecológicos relacionados a la micorrización

La infección micorrízica depende de condiciones que determinan las características de los hospederos y del suelo, en particular el potencial fotosintético del hospedero y la fertilidad, condiciones físicas, contenido de agua y cantidad y calidad del humus presente en el suelo (Hermard *et al.*, 2002). Entre los factores condicionantes se pueden mencionar:

2.2.1. Luz

Al aumentar la intensidad luminosa el aumento de micorrizas es proporcional al número de raíces cortas posiblemente por un aumento en la disponibilidad de nutrientes, principalmente carbohidratos libres en las raíces.

2.2.2. Temperatura

La temperatura tiene una acción directa sobre el porcentaje de crecimiento radical y sobre la producción de nuevas raíces. Las temperaturas óptimas para el crecimiento de las micorrizas varían entre 17 y 27 °C para la mayoría de estos hongos.

2.2.3. Agua y Aireación

Las formaciones micorrízicas están influenciadas por la humedad del suelo y por la aireación. Se presume que el crecimiento micelar decrece a una baja concentración de oxígeno debido a que la mayoría de estos hongos micorrízicos son aeróbicos. En efecto, la formación micorrízica se inhibe en suelos arcillosos debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación.

2.2.4. Suelos y Fertilidad

Los bosques templados desarrollados en suelos oscuros, solidados se componen por árboles formadores de ectomicorrizas. En estos suelos la presencia de raíces asociadas a micorrizas se detecta especialmente en el horizonte húmico. La cantidad y la calidad de humus, constituye el factor más importante en la formación de las micorrizas, por lo tanto estas disminuyen con la profundidad. La pobreza relativa en sales minerales disponibles por otra parte determina la prevalencia de micorrizas en bosques. Al existir deficiencias de N, P y K disponibles, se impide la formación micorrízica y el crecimiento radicular, pero al

existir una deficiencia moderada de uno de estos nutrientes la infección se lleva a cabo (Hermard *et al.*, 2002).

2.3. Taxonomía y clasificación de HMA

La identificación taxonómica está basada en características morfológicas de la espora (Morton y Redecker, 2001):

Tamaño. - Diámetro.

Color.- Puede ser hialino, amarillo, rojo, negro, miel, rosa u otras tonalidades.

Forma.- Puede ser redonda, esférica, ovalada, irregular, elipsoide, subglobosa, u otras.

Estructura citoplasmática.- Puede ser vacuolada o reticulada.

Estructura superficial.- Lisa, áspera, ornamentada, ondulada.

Número de paredes y grosor de las mismas.

Formación de la hifa terminal.

Tipo de hifa de soporte.

Se pueden distinguir tres grupos fundamentales según la estructura de la micorriza formada: *Ectomicorrizas* o formadoras de manto; *Ectendomicorrizas*, que incluye *Arbutoides* y *Monotropoides*; y las *Endomicorrizas*, caracterizadas por la colonización intracelular del hongo, y que a su vez se subdividen en *Ericoides*, *Orquidoides* y *Orbiculares* (Read, 1999).

2.3.1. Ectomicorrizas

Se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Este tipo de micorrización predomina entre los árboles de zonas templadas, se producen principalmente sobre especies forestales y leñosos, siendo especialmente característico en hayas, robles, eucaliptus y pinos. Los hongos que la forman son tanto *Basidiomycota* como *Ascomycota* (Read, 1999).

2.3.2. Endomicorrizas

Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y arbusculos. Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículo-arbusculares (HMA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta. Los hongos que la forman pertenecen a la división *Glomeromycota* y se dan en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas.

Abundan en suelos pobres como los de las praderas y estepas, la alta montaña y las selvas tropicales. En el bosque atlántico aparecen junto a las *ectomicorrizas* (Read, 1999).

2.3.3. Orquidoideas o micorrizas de oville

Son micorrizas de *orquídeas*, los cuales son imprescindibles para su desarrollo y vida juvenil. Una vez que la planta crece y fotosíntetiza, cuando está en la fase adulta generalmente se independiza del hongo (Read, 1999).

2.3.4. Ericoides

Son de tipo más sencillo y simple con raíces muy simples e hifas que penetran en las células para formar ovillos (Read, 1999).

2.3.5. Ectendomicorrizas

Presentan características intermedias entre las *Ectomicorrizas* y las *Endomicorrizas*, pues presentan manto externo, como las *ectomicorrizas*, pero también penetran en el interior de las células, como las *endomicorrizas* y no existen vesículas ni arbusculos. Este grupo se presenta tanto en *Basidiomycota* como *Ascomycota* y son más abundantes en angiospermas que en gimnospermas. Su distribución es restringida (Read, 1999).

2.3.6. Arbutoides

Presenta un manto externo junto con hifas que penetran a las células para formar rulos (Read, 1999)

2.3.7. *Monotropoides*

La forma de penetración en las células es algo diferente, diferenciada apenas por la forma de penetración de las hifas a las células radicales (Read, 1999).

2.3.1. Micorrizas vesículo-arbúscular

Las micorrizas vesiculares arbusculares no suelen ser específicas. A diferencia de las *ectomicorrizas*, no pueden cultivarse fuera de una planta huésped. La germinación de esporas de micorrizas vesiculares arbusculares en el suelo infectan las zonas periféricas de las raíces para empezar la colonización. Los hongos de las micorrizas vesiculares arbusculares son zigomicetos y fitomicetos. Los géneros más importantes que conviene recordar son *Glomus* (por lo general, la micorriza vesicular arbúscular más aislada del suelo), *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellospora* (Coyne, 2000) (Figura 1).

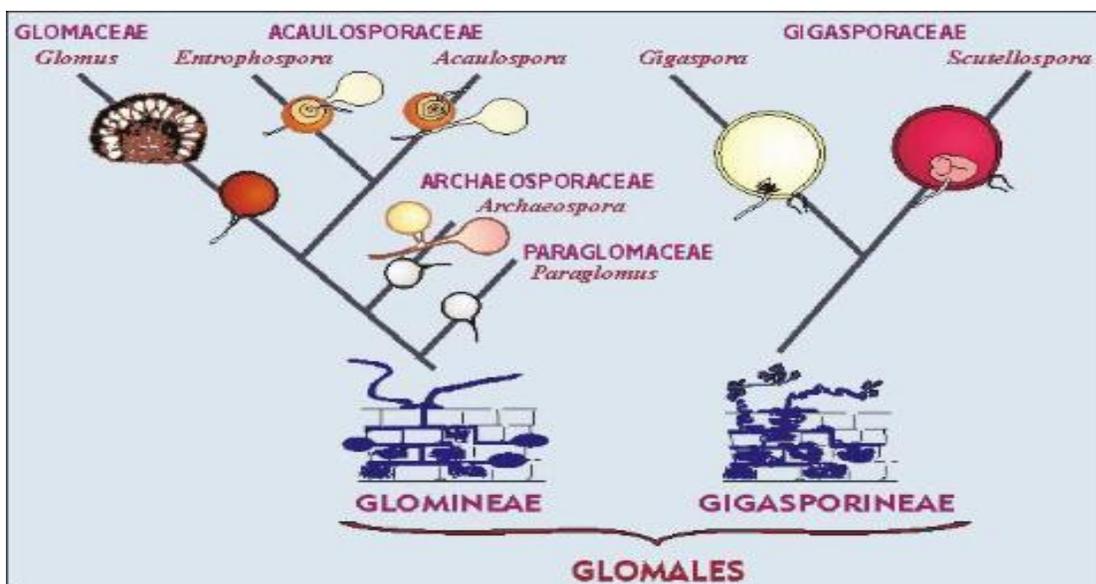


Figura 1: Clasificación de los HMA del orden *Glomales* (Coyne, 2000)

2.3.2. Morfología del hongo dentro de la raíz

Las tres estructuras características son: hifas, arbuscúlos y vesículas.

2.3.1.1. Hifas

Proviene de esporas germinadas, penetran en la raíz y forman un apresorio en las capas más internas del parénquima cortical. Nunca penetran la endodermis, tejidos vasculares, meristemas, tejidos estúcales, clorofílicos, partes viejas de la raíz o en sistemas especializados de órganos vivos. Cuando la infección se va desarrollando en el interior de la corteza ocurre un crecimiento exterior de las hifas (micelio externo) estableciéndose nuevos puntos de entrada y originándose una densa red de hifas extremas que avanzan por el suelo varios centímetros (Duchicela, 2001). La hifa ramificada se encuentra rodeada por la membrana plasmática de las células del parénquima y el hongo la zona de intercambio de nutrientes (Hernandez, 1999).

2.3.1.2. Arbúsculos

Son estructuras del tipo de los haustorios que se originan a partir de la ramificación dicotómica repetida de una hifa al interior de una célula vegetal. Las finas ramificaciones de los arbuscúlos realmente no entran en contacto con el protoplasma de las células, sino que penetran como dedos en un guante, denominándose “invaginaciones de la membrana celular” (Roman, 2003). De esta forma se produce una extensa superficie de contacto a través de la cual se lleva a cabo el intercambio de nutrientes minerales y carbohidratos entre el hongo y la planta. Los arbuscúlos son estructuras de corta vida, cuya presencia es indicativa

de la actividad metabólica asociada al transporte de sustancias a través de membranas (Roman, 2003).

2.3.1.3. Vesículas

Las vesículas son estructuras ovoides, se forman generalmente en los extremos de las hifas del hongo y pueden producirse a lo largo de todo el parénquima cortical colonizado; suelen aparecer más tarde que los arbusculos y son considerados órganos de reserva, principalmente de lípidos (Hernandez, 1999).

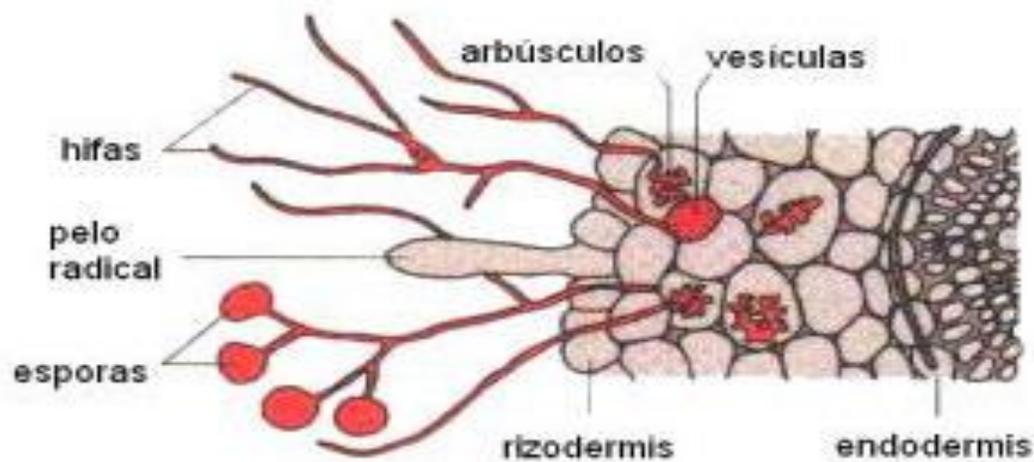


Figura 2: Vesículas, Arbusculos e Hifas (Hernandez, 1999; Roman, 2003)

2.4. Como se produce la simbiosis para formar micorrizas

Según (De la Vega, 2006), la simbiosis se realiza mediante los siguientes pasos:

Primer paso.- Se produce identificación mutua planta-hongo/hongo-planta en la rizósfera, o en regiones próximas a las raíces o pelos radicales. La

identificación es al parecer por sustancias exudadas desde la raíz que provoca la germinación de las esporas y el crecimiento del micelio y con un biotropismo positivo del mismo hacia la raíz.

Segundo paso.- Consiste en el acercamiento y acoplamiento progresivo y gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular al formarse una estructura que ata ambas biomasas.

Tercer paso.- Se realiza la colonización y se producen cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbioses (hongo-raíz) y, por último se produce una alteración de las actividades enzimáticas que se coordinan entre los simbioses para integrar sus procesos metabólicos.

Este proceso de asociación para formar micorrizas provoca alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas colonizadas tales como cambios en: la relación tallo raíz; la estructura de los tejidos radicales; el número de cloroplastos; aumento de la lignificación; alteración de los balances hormonales. Efectos que no sólo son explicables como simple mejora nutritiva de la planta debido al aumento de eficacia en la absorción de nutrientes por la raíz gracias a la formación de la micorriza, sino que responde a cambios metabólicos más profundos y complejos, debidos a la integración fisiológica de los simbioses (De la Vega, 2006).

2.4.1. Ciclo de vida de HMA

Las micorrizas arbusculares se originan a partir de hifas que proceden de los propágulos existentes en el suelo (esporas maduras, fragmentos de raíz micorrizadas, o plantas micorrizadas que crecen en vecindad). Cuando una hifa conecta con la superficie de una célula epidérmica de la raíz, forma un apresorio que originara seguidamente la hifa colonizadora que penetrara en dicha célula o atravesará el espacio intercelular. En la zona externa del córtex de la raíz forma unas estructuras intracelulares típicas que son los “ovillos”; en la zona media las hifas crecen normalmente de forma longitudinal en los espacios intercelulares; mientras que en la zona externa las hifas penetran intercelularmente y forman los arbusculos por ramificación dicotómica repetida a nivel de los cuales se produce el intercambio de nutrientes (Figura 3) (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse *et al.*, 1981; Morton y Benny, 1990).

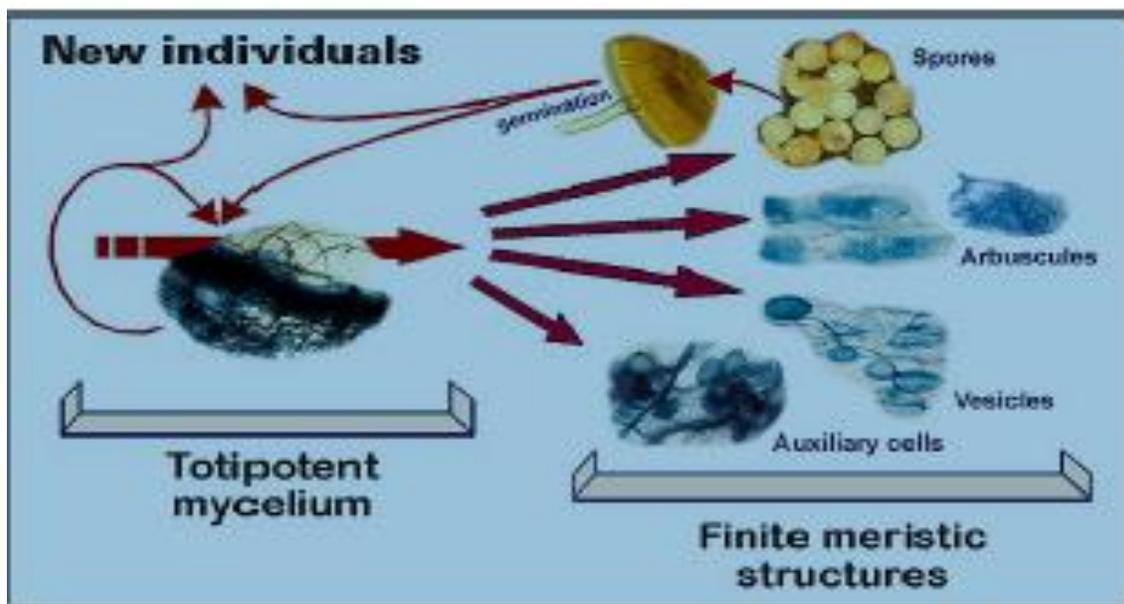


Figura 3: Ciclo de vida de HMA (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse *et al.*, 1981; Morton y Benny, 1990).

También habría que destacar la formación de vesículas en el córtex cuya función es el almacenamiento de reservas lipídicas. Tras la colonización interna se produce la ramificación y desarrollo de micelio externo, que es clave en la captación de nutrientes y da lugar a nuevos puntos de colonización en la propia raíz o en otras próximas. Sobre la red tridimensional de hifas que constituye se forman las esporas, estructuras de resistencia que, al madurar completan el ciclo del hongo (figura 4) (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse *et al.*, 1981; Morton y Benny, 1990).



Figura 4: Estructura morfológica de la HMA (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse *et al.*, 1981; Morton y Benny, 1990)

2.4.2. Esporas de HMA

Las esporas son producidas rápidamente en presencia de una planta hospedera, de manera que a los 4 a 6 meses son reproducidas miles de nuevas esporas del mismo tipo. Las esporas son formadas en el micelio extra radical o agregado en estructuras más o menos bien definidas llamadas esporocarpios. Las

esporas difieren en forma, estructura, contenido citoplasmático, color, tamaño, números de paredes vía de germinación, morfología de esporas secundarias y presencia o ausencia de esporocarpios (Gerdemann y Trappe, 1974; Mosse *et al.*, 1981; Morton y Benny, 1990).

El fenotipo de la espora es el resultado de procesos de desarrollo completamente diferentes, por lo que la espora es considerada ser autónoma en forma y función por algunos investigadores. Sin embargo, el tubo germinal de la espora puede originarse a partir de una red hifal filamentosa, arbuscúlos, vesículas o células accesorias (Morton *et al.*, 1995).

Las esporas son células morfológicamente especializadas las cuales no contribuyen directamente ni soportan actividades del desarrollo de la micorriza e interacciones hospedero-hongo. La función de la espora es llevar la información genética a nuevos hábitats e iniciar nuevos individuos espacialmente separados del organismo parental. En ausencia de información sobre el ciclo nuclear o existencia de etapas sexuales no es posible determinar si las esporas representan realmente nuevas generaciones de nuevos individuos. Sin embargo, existe una gran variabilidad genética entre las esporas dentro de una sola especie e incluso entre las que se originan de un cultivo que parte de una sola espora (Wyss y Bofante, 1993; Sanders *et al.*, 1995; Zeze *et al.*, 1997).

2.4.3. Germinación de las esporas

La germinación de esporas es una parte integral del ciclo de vida de los hongos de micorriza arbuscular ya que representa la iniciación de la etapa

vegetativa del crecimiento. Los caracteres de germinación son importantes para la taxonomía ya que se utilizan para distinguir entre los dos géneros de *Gigasporinae*, *Gigaspora* y *Scutellospora*. En *Gigaspora* la germinación ocurre directamente a través de la pared celular mientras que en *Scutellospora* esta ocurre a partir de un escudo de germinación formado sobre o dentro de una capa interna (Walker y Sanders, 1986).

La dormancia de esporas puede variar desde dos semanas hasta muchos meses en especies de *Acaulospora*, *G. intraradices* y *Gigaspora gigantea* (Tommerup, 1983; Gazey *et al.*, 1992). La germinación de esporas puede también estar influenciada por el pH, la humedad, los exudados de la raíz hospedera y otros factores (Tommerup, 1983; Siquiera *et al.*, 1985).

Las esporas transportadas por el suelo de HMA son consideradas las estructuras reproductivas más importantes, pero sus números en suelo están a menudo poco relacionadas con la formación de micorrizas en raíz (Gazey *et al.*, 1992). Además la producción de esporas es influenciada por muchos factores incluyendo la planta hospedera y el tipo de suelo (Gazey *et al.*, 1992).

2.4.4. Colonización

El proceso y la tasa de colonización determinan la efectividad de un HMA o una asociación micorrízal. La colonización puede originarse a partir de esporas, fragmentos de raíz infectada o hifas (Smith y Read, 1997). La red hifal y los fragmentos de raíz son dados a ser fuente principal por la cual las plantas son colonizadas (Smith y Walker, 1981; Jasper *et al.*, 1992).

Al mismo tiempo que la infección se esparce dentro de las células corticales de la raíz hospedera, un micelio de hifas extra radicales crece afuera, hacia el suelo. Las hifas extra radicales tienen un papel importante en la adquisición de nutrientes y forman una fuente de colonización secundaria a lo largo de y entre las raíces (Harley y Simth, 1983; Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988; Smith *et al.*, 1992).

Dentro de la corteza, las hifas crecen longitudinalmente entre las células e intracelularmente para formar arbusculos. (Giovannetti *et al.*, 1993).

2.5. El cultivo del nogal

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) está considerado como nativo de la franja norte de México y sureste de los Estados Unidos de América. Se cultiva prácticamente solo en “El Cinturón del Sol” de Estados Unidos Meridional y en el norte de México que comprende de los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Durango (Brisson, 1992).

Las regiones productoras de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) se caracterizan por tener un clima de tipo semidesértico. Bajo estas condiciones, la limitada disponibilidad de agua, resultante de las bajas precipitaciones pluviales o del abatimiento de las reservas de agua subterránea, conduce hacia el incremento de la eficiencia en el uso de los recursos e insumos (Lagarda, 2006).

2.5.1. Clasificación taxonómica del nogal pecanero

Cuadro 2: Clasificación taxonómica del nogal pecanero (Aragón, 2004)

Reino	Vegetal
Sub-división	Angiospermas
Clase	Dicotiledónea
Orden	Juglandales
Familia	Juglandácea
Género	<i>Carya</i>
Especie	<i>illinoensis</i> (Wangenh K. Koch)

El género *Carya* o *Hicoria* pertenecen las especies: *Carya ovata*, *Carya lacinosa*, *Carya glabra*, *Carya máxima*, *Carya buckley*, *Carya cardiformis*, *Carya ovalis*, *Carya tomentosa*, *Carya illinoensis* (Aragón, 2004).

2.5.2. Característica botánica del cultivo

El nogal pecanero(Figura 5) es una planta dicotiledónea, de raíz pivotante muy desarrollada(Figura 6), cuya parte aérea puede alcanzar alturas de hasta 50 centímetros con un diámetro de tronco de 2 metros de diámetro; el tallo es un tronco muy corto y robusto del que parte gruesas ramas de crecimientos, presentando formas simpodicas y en ocasiones policotómico el cual forma una copa amplia muy frondosa de hermoso aspecto; la corteza gruesa, agrietada vertical y desordenadamente, de color gris oscuro en las ramas(Figura 7) y en los tronco (Aragón, 2004).



Figura 5: Árbol del nogal pecanero (Aragón, 2004)



Figura 6: Raíz pivotante del nogal (Aragón, 2004)



Figura 7: Tallo del nogal pecanero (Aragón, 2004)

Sus hojas son caducas, alternas, imparipinada, compuestas de 11 a 17 folíolos ovales, peciolados, de forma oblonga lanceolada, acuminada con bordes semiacerrados con longitud de 10 a 17 centímetro. Pubescentes cuando jóvenes (Figura 8) y glabras en la madurez (Figura 9) excepto en las nervaduras, al frotarlas expiden un olor característico entre los dedos (Aragón, 2004).



Figura 8: Hojas jóvenes (Aragón, 2004)



Figura 9: Hojas maduras (Aragón, 2004)

Sus flores son unisexuales, apétalas, las masculinas son de color verdoso, con inflorescencias en amentos colgantes, de 6 a 8 centímetros de longitud, axilares que nacen en la madera de un año de edad; los estambres son indefinidos de cuatro a seis en cada flor, la cual está protegida por una bráctea de tres estípulas; las flores femeninas se presentan en inflorescencias de espiga en ápices de la misma rama floral, son pistoladas con un involucro de cuatro brácteas y estigma bífido, son originadas en el crecimiento del año en curso (Brison, 1992).

La fruta del nogal se considera una drupa, la cual consta de un pericarpio, mesocarpio y semilla (almendra) (Aragón, 2004). Los frutos están agrupados de uno a cuatro (Figura 10), sobre un pedúnculo corto, cada uno constituye una drupa dehiscente, con la cubierta carnosa al principio o sea el pericarpio y mesocarpio (ruezo) el cual se seca hendiéndose en cuatro valvas para dar salida al endocarpio leñoso el cual encierra la semilla o almendra (nuez) (Figura 11), reducida a un embrión con dos cotiledones los cuales son la parte comestible de la nuez (Brisson, 1992).



Figura 10: Fruta del nogal



Figura 11: Endocarpio y nuez (Brisson, 1992)

2.5.3. Fenología del cultivo

El nogal pecanero requiere de 150 a 230 días libres de heladas para producir una cosecha. Sus requerimientos de frío fluctúan entre las 400 a 600 horas frío dependiendo de la variedad, además de necesitar un clima caliente durante el verano (Brison, 1976).

2.5.3.1. Dormancia

Durante la dormancia el reposo invernal, la actividad metabólica y el crecimiento de los árboles caducifolios se reducen al mínimo, lo que les permite resistir al frío en esta época (Diaz M, 1987). En el nogal pecanero el reposo profundo corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero (Wolstenholme, 1990).

2.5.3.2. Compensación de frío

Se estima que las variedades Western y Wichita requieren alrededor de 400 horas frío (Diaz M, 1987).

2.5.3.3. Riego invernal

En general, las nogaleras no reciben riego de octubre a mediados de marzo. En esos cinco meses el suelo se reseca de manera severa, particularmente si no hay lluvias invernales, lo que ocasiona la muerte de raicillas delgadas y superficiales (Stockton, 1985). Por ello se debe reponerse la humedad del subsuelo regando durante la segunda quincena de enero. Se considera que en la época de dormancia un nogal requiere 50 litros de agua por día (Valdez, 2001).

No debe rastrearse el suelo en esa época, pues ello favorece a la pérdida de humedad (Valdez, 2001).

2.5.3.4. Brotación

En el nogal esta fase se considera cuando la yema se hincha y se desprende la escama externa, quedando expuesta la escama interna de color amarillo limón. El primordio foliar aparece días después, de color verde claro, cuando cae la escama interna. La ocurrencia de la fase varía entre las regiones y la variedad Wichita generalmente es más temprana que la Western (Valdez, 2001).

2.5.3.5. Riego

Cuando se riega por gravedad, la aplicación del primer riego a mediados de marzo (del día 15 al 20), es vigoriza la brotación y permite que el inicio del crecimiento del brote sea más fuerte (Hernandez, 2003).

2.5.3.6. Fertilización

La raíz de un nogal y la translocación de sustancias de reserva se adiva alrededor de dos semanas antes de la brotación (Tarango, 2001). Para asegurarse una provisión adecuada de nitrógeno desde el inicio del periodo de crecimiento rápido del brote, este nutrimento debe aplicarse desde a mediados de marzo (Walworth, 2002).

2.5.3.7. Floración

La mayoría de las variedades de nogal pecanero son parcial o completamente dicogamicas, por lo que la polinización cruzada es necesaria o conveniente (Sparks, 1993). La Western es una de las variedades con menor grado de dicogamia, cuyo periodo de receptividad de estigma es bien cubierto por la variedad Wichita (Walworth, 2002).

Cuando se establecen de manera adecuada los arboles polinizadores, la polinización artificial no es necesaria en una nogalera (Marquard, 1991).

En los nudos de cada brote existen dos, tres o más yemas. La yema más próxima a la yema terminal del brote se le conoce como yema primaria, mientras que las otras son yemas de reserva y no se desarrollan a menos que la yema primaria o el brote, que nace de estas, sea destruido por una helada, insectos u otros factores adversos (Brison, 1976).

Los brotes de yemas secundarias pueden producir flores femeninas pero no amentos (flores masculinas), después de ocurrir las pérdidas de brotes primarios (Brison, 1976).

Cuando la yema primaria brota, aparecen tres amentos (flores masculinas) en cada lado del brote, los cuales son capaces de producir más de 10 millones de granos de polen (Brison, 1976).

2.5.3.8. Crecimiento de brote

El brote que desarrolla la yema primaria continua creciendo después que los amentos se han desarrollado en forma completa. Los brotes llegan a su máximo desarrollo para la segunda o tercer semana de mayo y el periodo de mayor crecimiento se presenta desde la primer semana de abril hasta la segunda semana de mayo; en arboles jóvenes este periodo se prolonga hasta junio. El brote generalmente produce de ocho a diez hojas compuestas cada una de las cuales tienen de 13 a 17 foliolos y se requieren como mínimo seis hojas por fruto para que este pueda llenar bien a la almendra (Brison, 1976).

Brotos vigorosos con suficiente área foliar producen más flores, retienen más nueces y llenan mejor las almendras (Sparks, 1993). En la variedad Western los brotes son de 15 a 30 cm de longitud con hojas grandes son suficientes para una buena cosecha (McEachern, 1985), mientras que en Wichita los brotes más productivos son de 25 a 45 cm (Lopez M, 1985).

2.5.3.9. Riego

Durante esta etapa fenológica el nogal requiere suficiente humedad en el suelo para tener brotes y hojas vigorosas (Marquard, 1991).

2.5.3.10. Fertilización

En el periodo de crecimiento rápido el brote y las hojas del nogal son muy demandantes de nitrógeno. Por lo cual se debe fertilizar alrededor del mes de marzo o a mediados de abril (Miyamoto, 2002).

2.5.3.11. Crecimiento y desarrollo del fruto

El fruto de la nuez inicia su crecimiento después que la flor femenina es fecundada, su desarrollo implica dos etapas) crecimiento rápido del fruto, donde es el periodo que corresponde al crecimiento de la nuez, comprende del amarre del fruto(mayo) al inicio de endurecimiento de cascara (finales de julio) b) llenado de almendra, abarca el endurecimiento de cascara (finales de julio o principios de agosto) al comienzo de la maduración del fruto o apertura del ruezno (mediados de septiembre) (Godoy y López, 2000).

Cuadro 3: Crecimiento del fruto del nogal pecanero (Godoy y López, 2000)

Variedad	Inicio de aumento de tamaño	Inicio de estado acuoso	Inicio de endurecimiento de la cascara	Inicio de maduración
Western	20-21 de mayo	18-30 de junio	25-30 de julio	6-20 de septiembre
Wichita	12-20 de mayo	12 de jun-9 jul	15-30 de julio	6-13 de septiembre

2.5.3.12. Crecimiento

Después de la polinización a mediados de mayo, el fruto no crece, pues es cuando ocurre la fertilización del ovulo (Wolstenholme y Storey, 1970). A finales de julio la tasa de crecimiento del fruto es menor, para alcanzar su tamaño total a principios de agosto, después solo ocurre un ligero incremento en el grosor del ruezno (Tarango, 1989).

El tamaño final de la nuez está influenciado por las características de la variedad, condición fisiológica del árbol, manejo de las nogaleras y clima. Brotes vigorosos forman nueces de mayor tamaño, nogales con muchos frutos dan nueces más pequeñas. Los frutos crecen más cuando la temperatura media de

abril es menor de 20.3 grados centígrados y en mayo menor de 24.2 grados centígrados (Brison, 1976; Sparks, 1986).

2.5.3.13. Riego

Durante el periodo de crecimiento del fruto, se inicia el periodo de alta demanda de agua y nutrimentos y cualquier deficiencia de estos insumos afecta el tamaño de la nuez. Después del crecimiento de la nuez, inicia la etapa del llenado de la misma con el crecimiento del embrión o almendra, por lo que cualquier factor que reduzca la elaboración de carbohidratos en el árbol reducirá al llenado de la nuez y se reflejara en un bajo porcentaje de almendra (Godoy y López, 2000).

En buena medida el tamaño de la nuez está determinado por la provisión de agua en la época de su crecimiento rápido, durante junio hasta mediados de julio (Hernandez, 2003).

2.5.3.14. Fertilización

El crecimiento del fruto requiere nitrógeno, pero en cantidades conservadoras (Wood, 2002).

2.5.3.16. Desarrollo

En cuanto a su desarrollo el fruto del nogal presenta fases bien definidas. (Cuadro 4). Su época de ocurrencia difiere un tanto entre las variedades, regiones y años. Tal como se presenta en el cuadro (Godoy y López, 2000).

Cuadro 4: Fechas promedio del inicio de cuatro fases fenológicas del fruto de dos variedades de nogal (Godoy y López, 2000).

Variedad	Estado acuoso	Endurecimiento de cascara	Llenado de almendra	de Apertura de ruezno	de
Western	18 de junio	22 de julio	2 de agosto	25 de sep.	
Wichita	12 de junio	19 de julio	24 de julio	22 de sep.	
Western	1 de junio	21 de julio	1 de agosto	6 de octubre	
Wichita	29 de mayo	17 de julio	25 de julio	1 de octubre	

2.5.3.17. Caída del fruto

Estas etapas son de importancia y corresponden los periodos de: fecundación, estado acuoso del fruto y endurecimiento de cascara, los mayores porcentajes de caída de nuez se presentan durante la fecundación y en estado acuoso, sin embargo la etapa más conocida, porque ocurre cuando la nuez puede ser vista fácilmente corresponde al endurecimiento de la cascara y se presenta a principios de agosto (Godoy y López, 2000).

2.5.3.18. Madurez del fruto

Una vez que el desarrollo de la almendra se ha completado, lo cual ocurre en un periodo aproximado de seis semanas (agosto y septiembre) en las variedades Western, Wichita, la planta inicia la apertura del ruezno, lo cual indica que principia la maduración del fruto (Godoy y López, 2000).

2.5.3.19. Periodo vegetativo

El periodo vegetativo del nogal varía de 240 a 270 días, considerando desde su brotación a fines de marzo hasta la defoliación natural a fines de noviembre (Godoy y López, 2000).

2.5.3.20. Cosecha temprana

La cosecha temprana generalmente requiere de desrueznado mecánico. Para mantener la buena calidad la nuez no se debe dejar tirada en el suelo por más de tres días. Las nueces se deben limpiar y secar hasta 6% de humedad, y almacenarse en un lugar ventilado (Sparks, 1993).

Esta práctica permite obtener una almendra con un color más claro, reducir el porcentaje de nuez nacida y llegar más temprano al mercado; sin embargo, exige mayor mecanización de la cosecha y se realiza cuando la nuez se separa del ruzno y las suturas de este comienzan a abrir (Sparks, 1993). La cosecha temprana puede iniciarse de la segunda decena de octubre.

2.5.3.21. Cosecha

La nuez empieza a caer desde finales de septiembre a finales de octubre, se realiza en forma convencional vareando las ramas para que caiga la nuez. Se coloca una malla en el suelo para su recolección de campo (Sparks, 1993).

2.6. Requerimientos del cultivo

Para que el nogal pecanero crezca y produzca adecuadamente debe ser abastecido de manera balanceada con los nutrimentos: nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y boro (B). Cuando un nogal sufre una deficiencia o un desbalance nutrimental su productividad resulta sustancialmente limitada (Guerrero, 2000).

La principal extracción de agua por las raíces se produce en los primeros 90 cm. Por ello, el nogal no tiene limitaciones en su desarrollo radicular con drenaje bueno a moderado. Es decir, cuando no existe un nivel freático. Si existe nivel freático a 110 cm de profundidad con drenaje imperfecto, el nogal tendrá leves limitaciones de crecimiento de sus raíces. El nogal no prospera con niveles freáticos a 50 cm o menores, con drenaje pobre o muy pobre (Guerrero, 2000).

2.6.1. Nitrógeno

El N es el cuarto elemento en la composición de los tejidos vegetales, en ellos forma parte de distintas biomoléculas como aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos DNA y RNA, hormonas así como en la clorofila y otros componentes celulares (Mengel y Kirkby, 1987; Marschner, 1995).

Es altamente móvil dentro de las plantas, por lo que su deficiencia se presenta en las hojas adultas. Como ningún otro nutriente, es determinante del vigor, producción y calidad de la fruta (Ojeda *et al.*, 2005).

Cuando este nutriente es deficiente, se reduce el crecimiento de los brotes y también se presentan fallas en el llenado de la almendra (Ojeda *et al.*, 2005).

2.6.2. Fósforo

Participa en los procesos energéticos de las plantas. Es móvil dentro de los tejidos por lo que se trasloca a los tejidos jóvenes cuando hay bajos niveles de abastecimiento por parte del suelo. Su deficiencia provoca palidez en las hojas más adultas las cuales se tornan de un color rojizo (Sparks, 1994).

El N y P están íntimamente involucrados en el metabolismo y crecimiento de las plantas, tienen numerosos puntos de interacción y sus procesos son dependientes (Sparks, 1994).

2.6.3. Potasio

El K es el segundo macronutriente más requerido por el pecan, donde es requerido para una mayor producción. Su papel principal es el de mantener la turgencia de las células, por ello la apertura y cierre de estomas está regulada por el contenido de K en células guardia. Este nutriente está involucrado también en el transporte de carbohidratos, regulación de ósmosis y otros procesos fisiológicos en las plantas. Sus funciones más importantes están en el transporte de azúcares y la regulación hídrica de la planta. Es un elemento móvil dentro de las plantas, por lo que su deficiencia se presenta en los tejidos más adultos. Las deficiencias se manifiestan durante el verano como una necrosis marginal que inicia primeramente en las hojas más adultas. Estos síntomas son más aparentes en la variedad Wichita (Sparks, 1994).

2.6.4. Magnesio y Calcio

El primero participa estructuralmente en la clorofila, mientras que el segundo es un elemento esencial en la pared celular y juega un papel importante en la integridad de la membrana celular, interviene en muchas funciones celulares como secreción, regulación del intercambio de gases, balance iónico, expresión genética, metabolismo del carbono (Tarango, 2004).

2.6.5. Hierro

Participa activamente en procesos enzimáticos, tanto en la fotosíntesis como la respiración, y es también un elemento esencial en la síntesis de clorofila (Mengel y Kirkby, 1987). Este nutriente es poco móvil en el árbol. La carencia de hierro se presenta al inicio de la estación de crecimiento (mediados de abril-principios de mayo) y se hace más evidente conforme avanza el ciclo (Tarango, 2004).

2.6.6. Manganeseo

Este elemento participa en diversos procesos enzimáticos. Su deficiencia no es común (Wood, 2002).

2.6.7. Cobre

Este elemento participa principalmente en procesos de oxidación-reducción (Tarango, 2004).

2.6.8. Boro

Participa en la formación y distribución de azúcares en las plantas. Uno de sus efectos pudiera observarse en el amarre del fruto ya que participa en la germinación y crecimiento del tubo polínico. En las regiones áridas, generalmente hay suficiente B para los nogales. Un exceso de B puede ser más común que una carencia (Tarango, 2004).

2.6.9. Zinc

Junto con el nitrógeno, este elemento es uno de los nutrientes claves en la producción y calidad del nogal pecanero. Participa en la formación de triptófano un precursor del ácido indolacético (AIA), auxina que promueve el crecimiento de los tejidos vegetales (Mengel y Kirkby, 1987).

2.6.10. Níquel

El níquel es parte de la estructura de la enzima Ureasa, la cual afecta el metabolismo de N en el árbol (Figuroa *et al.*, 2006).

2.6.11. Análisis de suelo

Esta técnica permite conocer las condiciones en las cuales las raíces toman los nutrientes para su desarrollo. Las condiciones físicas, como textura, densidad aparente, capacidad de infiltración, compactación del suelo, son determinantes para el desarrollo de las raíces y por ende de las plantas (Herrera, 2005).

El nogal puede prosperar satisfactoriamente, aun cuando no se presenten las condiciones óptimas. Sin embargo la implementación de prácticas de manejo deberá llevarse a cabo para lograrlo (Nuñez, 2001).

2.7. Las micorrizas y el nogal pecanero

Los nogales en su habitat natural tienen una asociación con hongos no dañinos altamente especializados en las raíces alimentadoras. Esta infección en las raíces es llamada micorrizas (hongo-raíz), la relación le permite al árbol la optimización en la toma de nutrientes del suelo por la raíz, mejorando así la eficiencia productiva del árbol (Tarango, 2004).

2.7.1. Beneficio de las micorrizas en el nogal pecanero

Las raíces micorrizadas viven por más tiempo y son menos sensibles a las enfermedades (Sharpe y Marx, 1986; Marx *et al.*, 1990). El mecanismo básico por el cual el hongo micorrízico protege a la raíz de los patógenos es:

- a) al mejorar la nutrición de la planta, particularmente del P
- b) al ocupar los sitios de infección en la superficie radical y al actuar el manto fúngico como barrera
- c) al producir antibióticos y otras sustancias de defensa (Mukerji *et al.*, 1999).

En algunas regiones el nogal pecanero sufre de una fungosis llamada necrosis de las raicillas alimentadoras, causada por varias especies de *Pythium*; sin embargo cuando las raicillas son micorrizadas por *S. bovista*, la enfermedad no se presenta, pues este hongo benéfico produce antibióticos (Marx *et al.*, 1990).

2.7.2. Especies de micorriza comúnmente asociadas a raíces de nogal

La micorrización es un proceso particularmente importante en la fertilización biológica de las plantas, necesario en el contexto de la agricultura sostenible y de la producción orgánica (Alarcón y Ferrera, 2000). La ramificación y engrosamiento de la ectomicorrizas y el manto fúngico aumenta la superficie de exploración del sistema radical, por lo que la absorción de agua y de los nutrientes nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre es mayor; también el hongo puede desdoblar complejos minerales y orgánicos del suelo a nutrientes asimilables por las plantas (Carrera y Lopez, 2004).

Dadas sus necesidades nutricionales, el hongo micorrízico restringe su habitación a la raíz y al suelo vecino a ella, y se reproduce cuando está colonizando una raíz. El 95 % de las plantas desarrollan micorrizas, las cuales se clasifican en dos tipos básico: *ectomicorrizas* y *endomycorrizas* (Marschner y Dell, 1994; Castellano y Molina, 1999). Los hongos micorrízicos también producen reguladores de crecimiento que estimulan la elongación y ramificación de las raicillas alimentadoras (Gonzalez *et al.*, 1998).

Las raíces asociadas a los hongos del suelo difieren morfológicamente de aquellas que carecen de estos hongos y representan un fenómeno de naturaleza generalizada resultante de la unión orgánica entre las raíces y el micelio del hongo, en un órgano morfológicamente independiente, con dependencia fisiológica, íntima y recíproca, seguida por el crecimiento de ambas partes y con funciones fisiológicas muy estrechas (De La Rosa, 1999). En el suelo natural

virgen la micorriza se desarrolla cuando las raíces de una planta en crecimiento encuentran esporas o micelio de hongos micorrízicos (Cihacek, 1985). Las esporas germinan y las hifas en crecimiento rodean las raíces (Agrios, 2001).

Existen evidencias de su alta capacidad de asociación micorrízica en nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch), por lo que presentan un alto potencial para mejorar la climatización de plantas propagadas en vivero y posteriormente trasplantadas a campo, donde frecuentemente son sometidas a condiciones de estrés por nutrientes, especialmente de fósforo y nitrógeno, estrés por sequía y altas temperaturas (Hanna, 1987; Tarango, 2004).

2.7.3. Características morfológicas, fisiológicas y composición química de raíces del nogal asociadas a *ectomicorrizas*

El nogal pecanero tiene raíz pivotante y la parte superior de su sistema radical es fibrosa. En dichas raíces fibrosas crecen las raicillas alimentadoras, que son pequeñas y delgadas, las cuales se forman y se secan de manera continua debido en gran parte al contenido de humedad del suelo (Sparks, 2004). Como la raíz de este árbol no tiene pelos absorbentes son las raicillas alimentadoras las que absorben agua y nutrientes, la mayoría de las cuales están micorrizadas, apareciendo sus confías más redondas y cubiertas por micelio fungoso. Específicamente, los hongos que han sido reportados asociados con el nogal pecanero pertenecen a los géneros *Astraeus*, *Gyrodon*, *Pisolithus*, *Russula*, *Scleroderma*, *Tuber* y *Tylopilus* (Smith y Read, 1998).

En viveros de regiones semiáridas son más comunes raíces *ectomicorrizas* con macro formas de color café o café rojizo (Tarango, 2004).

2.7.4. Formación de las *ectomicorrizas* en el nogal pecanero

Las *ectomicorrizas* se forman en las raíces cortas y en las raicillas alimentadoras, modificando su forma, tamaño y a veces su color. El hongo micorrízico crece en la superficie de la raíz, formando un manto compacto de hifas; luego forma una vaina que penetra la epidermis y las hifas crecen entre las células corticales para formar la Red de Hartig. Las hifas del manto fúngico se prolongan hacia el suelo, donde forman rizomorfos; ambas estructuras absorben y transportan agua y nutrientes minerales. En la zona de la raíz que abarca la Red de Hartig ocurre el intercambio: el hongo trasloca a la raíz agua y nutrientes, y la raíz pasa al hongo carbohidratos y otras sustancias nutritivas (Castellano y Molina, 1999; Tarango, 2004).

Los hongos *ectomicorrizicos* forman cuerpos fructíferos llamados esporocarpios, los cuales pueden verse en el piso en épocas de lluvias, dichas estructuras producen y liberan las esporas con las cuales el hongo se propaga (Alarcón y Ferrera, 2000).

El desarrollo *ectomicorrizas* se inicia de propágulos, de esporas o de hifas del hongo simbiote que se encuentra en la rizósfera del sistema radicular. El propágulo se estimula por exudados de la raíz y crece vegetativamente sobre las raicillas, formando el manto fúngico. Los tejidos meristemáticos y vasculares de la raíz no son infectados. Los compuestos reguladores de crecimiento se producen

tanto por el hongo como por la planta, causando un incremento en el tamaño de las células de la raíz, lo cual trae consigo cambios morfológicos en el sistema radicular, lo que origina formas simples, bifurcadas o coraloides. El color de la ectomicorrizas puede ser café, negro, gris, blanco, rojo, amarillo o mezcla de estos colores (Tarango, 2004).

En ambientes edáficos naturales, los arboles no se desarrollan normalmente, sin micorrizas; en una huerta los arboles no micorrizadas no sobreviven más de un año (Tarango, 2004).

En *ectomicorrizas* el hongo envuelve enteramente a la punta de la raíz con una vaina densa llamada manto hifa, el cual penetra en los espacios intercelulares. Las raíces son cortas, ramificadas y aparecen hinchadas, el desarrollo de los pelos radicales esta disminuido, los volúmenes de meristemo apical y cofia pueden estar reducidos (Alarcón y Ferrera, 2000).

2.7.5. Consecuencias morfológicas de la relación raíz-ectomicorrizas para promover un ambiente de intercambio de nutrientes en el nogal pecanero

Aumenta el número de raíces cortas, muy ramificadas, de estructura primaria y crecimiento limitado, con el ápice redondeado, que presentan formas características (dicotómicas, coraloides, cilíndricas, cilíndricas con constricciones) según las especies de planta y del hongo del que se trate (Marschner y Dell, 1994).

El manto tiene un grosor y una estructura característica del hongo formador (que varía con las especies y con las razas), además el manto presenta un micelio septado con unas hifas poco ramificadas y características de la especie fúngica (Carrera y Lopez, 2004; Tarango, 2004).

El manto ya aparece en la primera etapa de la infección, tras la aparición de cada nueva raicilla, cuando el hongo recubre y desarrolla un micelio con los carbohidratos cedidos por la planta. El micelio envuelve las células corticales con una estructura de cobertura. Posteriormente el manto puede morir en las raíces largas o puede perdurar, como lo hace en las cace aumentar enormemente la rizósfera por agrupaciones de hifas cortas. El micelio se prolonga expansivamente desde el manto hacia el exterior, lo que hace aumentar enormemente la rizósfera por agrupaciones de hifas (volumen de suelo explorado por sistema radical).

Tras la formación del manto, el micelio penetra en dirección a la endodermis y entra en contacto con células epidérmicas o corticales pero sin penetrar en el córtex. Se forma una Red de Hartig, cuya función es el establecimiento de una superficie de intercambio bidireccional de nutrientes (Carrera y Lopez, 2004; Tarango, 2004).

2.7.6. Micorrización en *Carya. illinoensis*

(Sharpe y Marx, 1986) Inocularon plántulas de nogal pecanero con el hongo *P. tinctorius* y las fertilizaron con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc al suelo. Encontraron que la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Mn se incrementó en el tallo y la raíz; la de Zn sólo aumentó cuando su disponibilidad en el suelo era

baja. No obstante, el crecimiento total (medido como peso seco por planta) apenas aumentó 6% con la micorrización. El mínimo incremento en biomasa es lo que explica el aumento en la concentración de nutrimentos en las plantas micorrizadas.

Por su parte, (Tarango, 2004) midieron el efecto de la inoculación de plántulas de nogal pecanero con dos especies de hongos micorrízicos en vivero (*P. tinctorius* y *Scleroderma sp.*). Utilizaron un suelo areno-migajoso y calcáreo y no aportaron fertilizantes. Encontraron que el 83% de las raíces de las plantas inoculadas tenían macro formas (micorrizas), comparado con el 50% en la micorrización natural y 0% en suelo esterilizado. El crecimiento del tallo (altura) a los 16 meses después de la inoculación (con seis meses creciendo en campo) resultó altamente significativo, 40% más en la micorrización natural y 48% más con la inducida, con relación al testigo sin micorrizar. El estado nutrimental de los pequeños árboles, medido como concentración foliar de nutrimentos, mostró una respuesta muy diferente al trabajo de (Sharpe y Marx, 1986). De manera consistente, ocurrió que a mayor micorrización mayor crecimiento y menor concentración foliar de N-P-K. Esta es una respuesta lógica y normal en nogal pecanero, ya que al aumentar la biomasa de manera significativa la concentración foliar de nutrimentos se reduce por un efecto de dilución (Tarango y Ojedda, 1999).

III. Materiales y Métodos

3.1. Localización geográfica del área de estudio

El estudio se realizó en una huerta de nogal pecanero de la propiedad tierra blanca, en ejido mieleras, municipio de Matamoros Coahuila, México, ubicado entre 25° 25' norte, 103° 18' O con una elevación de 1200 msnm. Los arboles evaluados son del nogal pecanero de las variedades Western y Wichita de 55 años de edad, en época de inicio de descanso y a una altura promedio de 14 metros.

3.2. Descripción del experimento

3.2.1 Recolección de muestras de suelo y raíz

3.2.1.1. Área A

El muestreo se realizó en arboles de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en las variedades Western y Wichita seleccionados al azar. Se obtuvieron dos muestras de cada árbol a una profundidad de 30 centímetros, se colectaron aproximadamente 500 g. de suelo de la rizósfera, guardándolas en bolsas de plástico, para su posterior procesamiento en el laboratorio.

3.2.1.2. Área b

Se llevó a cabo este muestreo del lado donde pasa el sistema de riego considerando a los arboles de nogal realizando el mismo procedimiento que se llevó a cabo en el área A

3.3. Aislamiento de esporas e identificación de HMA

Una vez en el laboratorio las muestras de suelo se pasaron por un tamiz de 2 milímetros para eliminar piedras y materia orgánica, se pusieron a secar a temperatura ambiente durante 72 horas, se colocaron en el refrigerador a 4 °C, hasta su análisis.

Las esporas se extrajeron de 20 g. de suelo del área muestreada. Se utilizó el método de tamizado húmedo (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguido por centrifugación en un gradiente de sacarosa por (Walker *et al.*, 1982).

3.4. conteo, montaje e identificación de esporas

Este proceso es de separar las esporas extraídas del suelo de acuerdo con sus rasgos morfológicos más evidentes (color, tamaño) Se utilizó el método de cuenta (Sánchez y Posada, 2010). Se vació la muestra en una caja Petri, lo cual contiene un papel filtro cuadrado de 1 x 1 donde las esporas se distribuyeron de manera uniformemente. Se tomaron diez cuadros de una manera al azar y se realizó el conteo de cada uno de los cuadros, con la ayuda de un microscopio estereoscopio. Una vez hecho el conteo se realizó los montajes de esporas dividiéndolos en laminillas en secciones diferentes para el reactivo mezler y glicerol lactofenol polivinilo (PVLG). En portaobjetos se puso una gota de cada reactivo. Se recuperó con una jeringa de insulina cuidadosamente los diferentes tipos de esporas que se lograron encontrar, colocando las esporas en cada uno de los reactivos y se hizo una duplicación de laminillas dependiendo la diversidad de

esporas que se encontraron en cada muestra. Una vez que las esporas fueron extraídas, en los reactivos de mezler y glicerol lactofenol polivinilo (PVLG) se cubrieron con un cubreobjetos, y se dejaron reposar por 5 días a temperatura ambiente para que se secase.

Una vez que el tiempo de reposo paso se sellaron las muestras con esmalte de uñas durante 24 horas a temperatura ambiente y así evitar que las esporas se salieran o se movieran de los portaobjetos, antes de que se observaran al microscopio óptico.

Para que se finalizara con el proceso de la identificación de esporas micorrizicas se utilizó la técnica realizada por (Sánchez y Posada, 2010); En un microscopio compuesto de alta resolución, fueron observadas sus características taxonómicas tales como: color, textura, forma, desarrollo, tamaño, grosor de las paredes, diámetro, número y características de la hifa de acuerdo a (Sánchez y Posada, 2010).

V. Resultados

Cuadro 5: Análisis físico y químico del suelo del nogal pecanero en la variedad Western.

Variedad Western		
Parámetros	s-2710	Rango optimo
Densidad aparente g/cm ³	1.28	<1.30
Textura	F, Arenoso	
Arena %	61.12	
Arcilla %	17.6	
Limo %	21.28	
PH en extracto %	4.99	7.0
Cond. Eléctrica en extracto ms/cm	5.74	<4.0
Materia orgánica %	1.80	3.0-6.0%
Cap. Inter. Cat. Meq/100 g.	9	>25.0
Nitrógeno total %	0.05	0.15-0.25
Fosforo ppm	98	>11.0
Calcio Meq/lto.	11.6	
Magnesio Meq/lto.	14.4	
Sodio Meq/lto.	31.4	
RAS	8.72	
PSI	12.38	<15

Cuadro 6: Análisis físico y químico del suelo en el nogal pecanero variedad Wichita.

Variedad Wichita		
Parámetros	s-2709	Rango optimo
Densidad aparente g/cm ³	1.28	<1.30
Textura	F, Arenoso	
Arena %	73.12	
Arcilla %	13.16	
Limo %	13.92	
PH en extracto %	5.0	7.0
Cond. Eléctrica en extracto ms/cm	4.2	<4.0
Materia orgánica %	0.77	3.0-6.0%
Cap. Inter. Cat. Meq/100 g	6.0	>25.0
Nitrógeno total %	0.03	0.15-0.25
Fosforo ppm	102	>11.0
Calcio Meq/lto	4	
Magnesio Meq/lto	10.4	
Sodio Meq/lto	25.7	
RAS	9.58	
PSI	13.38	<15

De acuerdo a los resultados del análisis físico-químico del suelo de la huerta privada de Matamoros Coahuila del nogal pecanero variedad Western y Wichita (cuadro 5 y 6), indican un suelo franco arenoso, con un suelo salino sódico con la conductividad eléctrica elevada, el pH su valor es ácido. Cuentan con un valor de materia orgánica no óptimo, en cuanto al fósforo, calcio, magnesio, sodio y nitrógeno son cantidades recomendadas que pueden tener se encuentran en nivel óptimo y no se encuentran gran diferencia entre los suelos de la variedad Western con la de Wichita.

Cuadro 7: Número de esporas por muestra en 100 gramos de suelo en el cultivo del Nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh K. Koch).

	Western	Wichita
No. Muestras	No. de esporas	No de esporas
1	896	870
2	953	972
3	1721	729
4	704	1376
5	691	896
6	486	947
7	704	1017
Media	879	972

En el cuadro 8 se observa la cantidad de esporas de cada muestra en 100 g. de suelo en el cultivo de Nogal pecanero en las variedades Western y Wichita. La mayor cantidad se encontró en la muestra tres de la variedad Western con un valor de 1721 esporas y el menor número de esporas se obtuvo en la muestra seis también en la misma variedad con un valor de 486 esporas. En cuanto la

comparación de las dos variedades se encontró un mayor número de esporas en la variedad Wichita con un valor de 972.

Cuadro 7: Análisis de varianza de esporulación micorrízica

Análisis de varianza de esporulación micorrízica						
Fuentes	DF	SS	MS	F	P	
Factor	1	30365	30365	0,30	0,593	
Error	12	1206865	100572			
Total	13	1237230				
Individual 95% CIs Para la media						
Nivel	N	Media	StDev			
Western	7	879,3	401,2			
Wichita	7.....	972,4	200,5			

En el cuadro 7 se observa el análisis de varianza entre las dos variedades del nogal pecanero, los resultados obtenidos muestran que no hay diferencia significativa en el estudio en relación a las variedades Western y Wichita sobre la esporulación micorrízica.

Cuadro 8: Géneros de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (*Carya illinoensis* (Wangenh K. Koch) en las variedades Western y Wichita.

Géneros presentes		
No. Muestreo	Western	Wichita
1	<i>Glomus</i> <i>Sclerosistis</i>	<i>Glomus</i>
2	<i>Glomus</i> <i>Sclerosistis</i>	<i>Glomus</i>
3	<i>Glomus</i> <i>Sclerosistis</i>	<i>Sclerosistis</i> <i>Glomus</i>
4	<i>Acaulospora</i> <i>Glomus</i> <i>Sclerosistis</i>	<i>Glomus</i>
5	<i>Glomus</i>	<i>Sclerosistis</i> <i>Glomus</i>
6	<i>Glomus</i>	<i>Glomus</i>
7	<i>Glomus</i>	<i>Glomus</i>
Total de géneros encontrados	3	2

Los tres géneros de micorrizas arbusculares encontradas en este estudio se presentan en el cuadro 8. El género que predominó fue el *Glomus* seguido por *Sclerosistis* y finalmente por el género *Acaulospora* en las muestras analizadas.

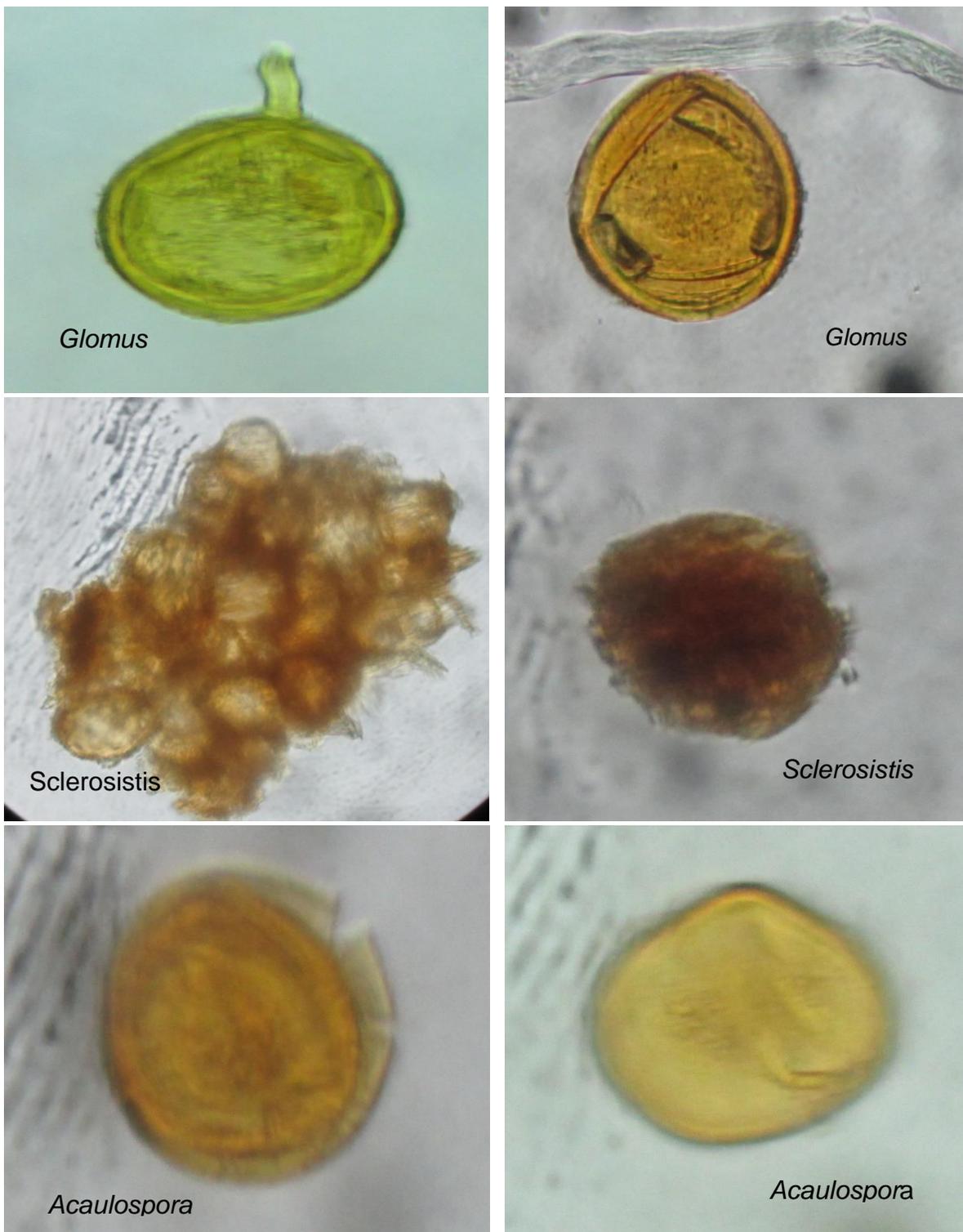


Figura 12: Esporas de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (*Carya Illinoensis* (Wangenh K. Koch) en la variedad Western.

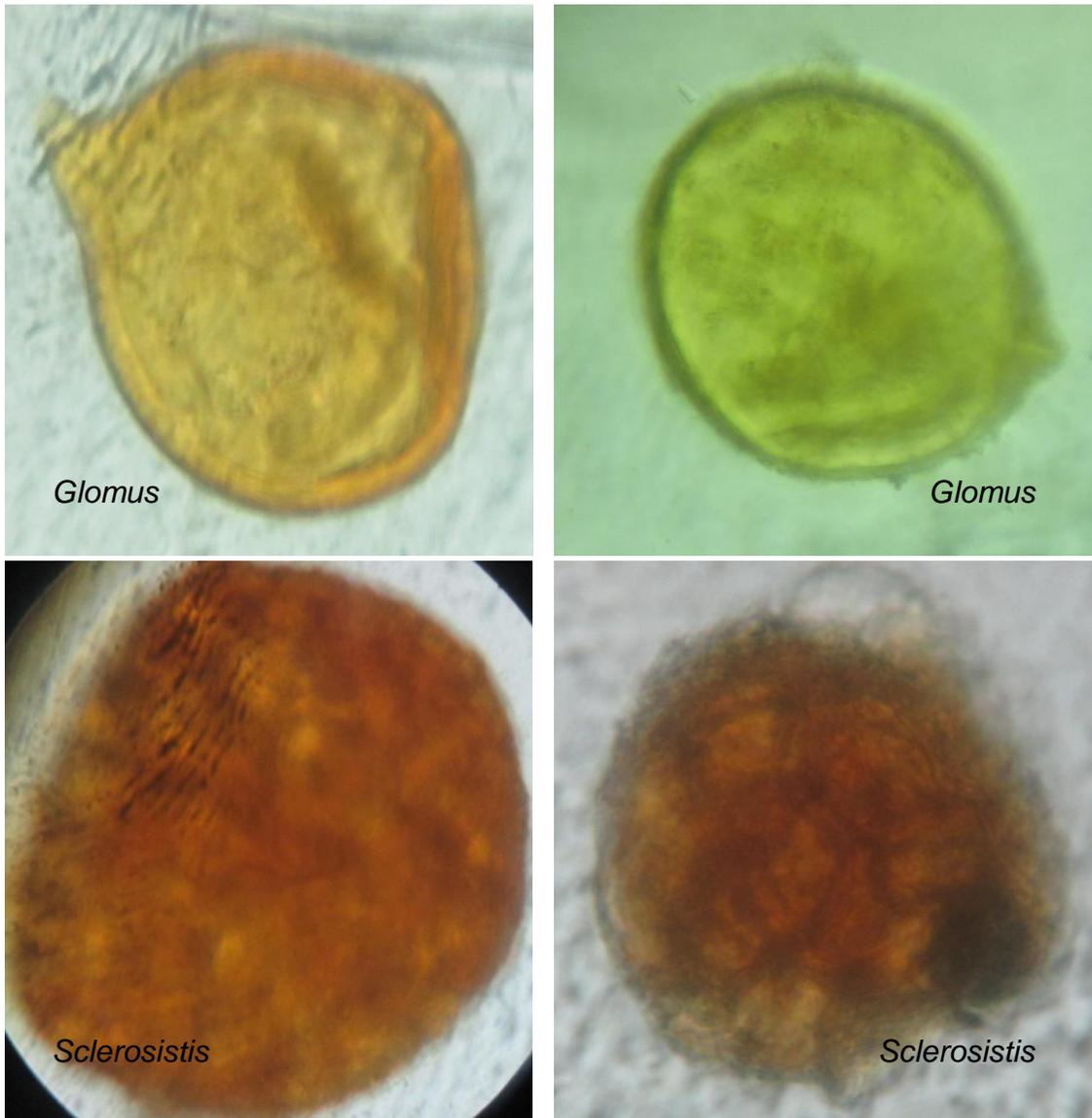


Figura 13: Esporas de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (*Carya Illinoensis (Wangenh K. Koch)*) en la variedad Wichita.

Figuras de las esporas de micorriza arbusculares presentes en las muestras de suelo del cultivo de nogal (*Carya illinoensis (Wangenh K. Koch)*), en la variedad Western se encontraron 3 géneros las cuales fueron *Glomus*, *Sclerosistis* y *Acaulospora*, en la variedad Wichita se encontraron dos géneros los cuales fueron *Glomus* y *Sclerosistis*. Encontrando el mayor número de géneros en Western y predominando el género *Glomus* en Western y Wichita.

V. Discusión

Este trabajo fue realizado en el mes de octubre, fecha en el cual el nogal pecanero *Carya illinoensis* se encuentra en inicio del descanso. En este trabajo se presentaron tres géneros de los HMA (*Glomus*, *Sclerosistis*, *Acaulospora*) en el total de los 14 sitios muestreados.

(Bago *et al.*) En un estudio realizado en la huerta La Esmeralda en el cultivo del nogal pecanero encontraron únicamente esporas de *Glomus*. Este resultado difiere con los obtenidos en este trabajo, coincidiendo en únicamente que el género encontrado de mayor predominancia fue *Glomus*, además los géneros *Sclerosistis* y *Acaulospora*.

(Peña *et al.*, 2006) Encontró un promedio de esporas recuperadas en bosques y rastrojos de aproximadamente 2000 esporas en 100 g de suelo, los datos obtenidos en este trabajo no coinciden con los datos reportados por el ya que el número de esporas encontradas fueron de alrededor de 1000 esporas en 100 g de suelo.

En cuanto al porcentaje de micorrización no se obtuvieron datos debido a que no se encontraron arbusculos, vesículas e hifas en el cultivo del nogal pecanero estructuras características de los hongos micorrízicos arbusculares. Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con los obtenidos por (Hetrick *et al.*, 1989) en donde explica que las raíces finas son más eficientes en la absorción de agua y nutrientes y las utilizadas en este trabajo fueron muy gruesas y

necrosas debido a la etapa fenológica en la que se encontraba el cultivo. (Alarcón y Ferrera, 2000) Durante la evaluación de los seis meses de muestreo en la huerta La Fama no encontraron arbusculos, estructuras características de los hongos micorrízicos arbusculares coincidiendo con los plasmados en este trabajo. (Guerrero, 1996) Menciona que la vida media de estas estructuras es muy corta (4-15 días), por lo que podría ser otra posible razón de estos resultados ya que estas estructuras tienen un periodo corto, puesto que se degradan en corto tiempo.

Los datos obtenidos en el estudio de (Schübler *et al.*, 2001) encontraron que en la agricultura orgánica, el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo, promueve un incremento en la diversidad, desarrollo y actividad de los microorganismos benéficos en especial de hongos micorrízicos arbusculares pertenecientes a la división *Glomeromycota*, los cuales forman simbiosis con las raíces de la mayoría de las plantas de interés agrícola Es por esta razón que en el estudio realizado no se encontró gran diversidad de géneros de esporas en los muestreos realizados en las dos variedades Western y Wichita del nogal pecanero ya que cuentan con un rango no optimo en cuanto materia orgánica.

(Castellanos *et al.*, 2000b) Dice los cultivos agrícolas de las zonas áridas han desarrollado cierta tolerancia a la salinidad, pero los que cuentan con conductividad eléctrica mayor de 3.5 dS m⁻¹ son sensibles a la salinidad. Esta pudo ser una causa que afecto ya que el cultivo está situado en un huerto privado de Matamoros Coahuila lo cual ayudo para que no se encontrara gran diversidad

de géneros de HMA en las variedades estudiadas que son Western y Wichita, ya que en el análisis de suelo realizado las dos variedades muestran una conductividad eléctrica fuera del rango óptimo ya que el contenido de las sales solubles, es un factor limitante en los suelos, reduciendo el potencial osmótico de la solución del suelo originando baja disponibilidad de agua para las plantas, aun cuando el suelo muestre un razonable nivel de humedad (Boyer, 1982).

Como recomendación tengo que para encontrar respuesta sobre las micorrizas vesículo arbúscular sería obtener raíces muy delgadas, no tan necróticas de los arboles a estudiar.

VI. Conclusión

Los resultados obtenidos en base a la revisión realizada, muestran las evidencias de la asociación con estos hongos en la huerta de nogales de la región de Matamoros, Coahuila.

En cuanto a la diversidad de géneros, Western obtuvo la mayor cantidad de diversidad encontrándose 3 géneros *Glomus*, *Sclerosistis* y *Acaulospora* y Wichita con dos géneros *Sclerosistis* y *Glomus*.

El suelo recolectado en el cultivo del nogal pecanero en las variedades Western y Wichita presentó buenos resultados con respecto al número de esporas en 100 gramos de suelo y no se encuentra diferencia significativa entre las dos.

El cuanto al porcentaje de micorrización fue nulo, al parecer es debido a la etapa fenológica en la que se encontraba el cultivo.

Las propiedades físico-químicas del análisis realizado en el suelo del cultivo del nogal pecanero se encuentran en un nivel óptimo en cuanto a textura, pH, nitrógeno, lo cual se debe a la asociación de micorrizas con las plantas del cultivo.

VII. Literatura Citada

Agrios, G. 2002. "Fitopatología." Academic Press Inc. Mexico, D.F: 838.

Agrios, G. N. 2001. "Fitopatología." Editorial Limusa, S.a de C.V. Grupo Noriega Editores. Mexico: 528-530.

Alarcón, A. y R. Ferrera 2000. "Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. Microbiología de suelos." 7.

Altieri, M. A. 1995. "Agroecología: la ciencia de la agricultura sostenible." Westview Press, Boulder.

Aragón 2004. "El cultivo del nogal pecanero: sus perspectivas de producción, comercialización y transformación de la nuez." Texto de apoyo. FACIATEC-UACH. México: 163.

Bago, B., H., Y. Vierheilig, P., y A. Azcon 1996. "Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradicalmycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*." *New Phytol*: 133: 273-280.

Barea, J., M. R. Azcon y C. Azcon-Aguilar 2002. "Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality." 81: 343-351

Barrios, E. 2007. "La biota del suelo, servicios de los ecosistemas y la productividad de la tierra." *Ecol Econ*: 64:269-285.

- Blanco, F. y E. Salas 1996. "Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica." 69.
- Boyd, J. y S. Banzhaf 2007. "¿Qué son los servicios de los ecosistemas?" *Ecol Econ* 63:616-626.
- Boyer, J. S. 1982. "Plant productivity y environment." *Science*: 218:443-448.
- Brison, F. R. 1976. "Cultivo del nogal pecanero." Mexico. Conafrut: 349.
- Brison, R. F. 1992. "Cultivo del nogal pecanero." 2ª. Ed. México. CONAFRUT: 349.
- Carrera, N. A. y R. Lopez 2004. "Manejo y evaluacion de ectomicorrizas en especies forestales." *Revista Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente*: 10: 93-98.
- Castellano, M. A. y R. Molina 1999. "Mycorrhizae." *Agric. Handbook* 5: 101-167.
- Castellanos, J. Z., S. Hurtado, V. Villalobos, S. Badillo y S. A. Enriquez 2000b. "Características físicas y químicas de los suelos del estado de Guanajuato, a partir de los análisis de laboratorio de campo experimental bajo." Informe de proyecto 49/99 de la Fundacion Guanajuato produce, A. C. Campo Experimental Bajío INIFAP. SAGAR, Mexico.
- Cihacek, L. J. 1985. " Interpreting soil analysis." New Mexico Statee University. Las cruces, NM, USA: 4.
- Costanza, I., R. D'Arge, R. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburgo, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton y M. Van den

- Belt 1997. "El valor de los servicios de los ecosistemas del mundo y el capital natural." *Naturaleza* 387:253-260.
- Coyne, M. 2000. "Microbiología del suelo un enfoque exploratorio." Editorial Paraninfo ITP An Internacional Thomson Publishing Company. Madrid-España: 416.
- De La Rosa, A. 1999. "Micorrizas Asociadas a los cultivos de Papa (*Solanum tuberosum*), Manzano (*Pirus malus*) y Nogal (*Carya Illinoensi*) en el Area de la influencia Inmediata a la Uaaaan."
- De la Vega, J. 2006. "Suelos y Ecosistemas. Las Micorrizas de mayor importancia son: Endomicorrizas, Ectomicorrizas lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura."
- Diaz M, D. H. 1987. "Requerimiento de frio en frutales caducifolios." Tema didáctico. No. 2. Mexico. CEDEL-INIFAP.
- Duchicela, J. 2001. "Proyecto de Tesis. Evaluación del uso de Endomicorrizas vesiculo arbusculares (MVA) en la obtención de plántulas de tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav." ESPE-Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sangolqui-Ecuador.
- Figuroa, V. U., L. Lombardini y M. C. Medina 2006. "Alternativas en la fertilización del nogal pecanero." XIV Simposium Internacional Nogalero. Torreón Coahuila. México.

- Fisher, B. y R. K. Turner 2008. "Servicios de los ecosistemas: La clasificación para la valoración." *Biol. Conserv.* 141:1167-1169.
- Foley, J. A., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, G. Hong Kong, J. H. Helkowski, T. A. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty y P. K. Snyder 2005. "Las consecuencias globales de uso de la tierra." 309:570-574.
- Gazey, C., L. Abbot y A. Robson 1992. "The rate of development of mycorrhiza effects the onset of sporulation and production of external hyphae by two of *Acaulospora*." *Mycological Research*: 643-650.
- Gerdemann, J. W. y T. H. Nicolson 1963. "Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting." *Transaction of the British Mycological Society*: 46:234-244.
- Gerdemann, J. W. y J. M. Trappe 1974. "'Endogonaceae in the Pacific Northwest'." *Mycologia Memoir* 5: 1-76.
- Giovannetti, M., L. Avio, C. Sbrano y A. S. Citernesi 1993. "Factores affecting appresorium development in the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*." *New Phytologist*: 115-122.
- Godoy, C. y I. López 2000. "Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego." *Terra*: 305-311.

- Gonzalez, C., C. Ferrera y M. Perez 1998. "Biotecnología de micorrizas arbusculares en fruticultura. Mexico, D.F." 131.
- Guerrero, E. 1996. "Micorrizas recurso biológico del suelo." Fondo FEN Colombia.
- Guerrero, G. M. 2000. "Caracterización Física-Química del suelo en huertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangenh K. Koch) Western Schley mediante Diagnostico Diferencial Integrado (DDI)." Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México: 152
- Hanna, J. D. 1987. "Pecan rootstocks. USA ": 401-410.
- Harley, J. y S. Simth 1983. "“Mycorrhizal Symbiosis”." Academic Press. London.
- Hart, M. M. y J. T. Trevor 2005. "La gestión de Microbio: aplicación de micorrizas en la agricultura sostenible." Frente Ecol Medio Ambiente 533-539.
- Hermard, C., C. Ilabaca, G. Jeres, P. SandovalL y A. Ulloa 2002. "Aspectos generales de las Micorrizas: Efecto de las micorrizas sobre la nutrición mineral de las plantas. Disponible en: <http://www.forestaluchile.cl/curso/fiveqf/mico.>"
- Hernandez, A. 1999. "Las Micorrizas. Centro de estudios ecológicos. Argentina. Disponible en: <http://www.cdeea.com/micorrizas1.htm.>"
- Hernandez, C. J. 2003. "Estimacion de los requerimientos hídricos de nogales en desarrollo y producción en Jimenez Chihuahua." CEDEL-INIFAP. Mexico.

- Herring, J. R y R. J. Fantel 1993. "La demanda de roca fosfórica en el próximo siglo: impacto en el suministro mundial de alimentos." *Nat Resou*: 2:226-246
- Hetrick, B., G. Kitt D y T. Wilson G 1989. "Relationship between mycorrhizal dependence and competitive ability of two tallgrass prairie grasses." *Canadian Journal of Botany* 67: 2608-2615.
- Jakobsen, I. 1995. "El transporte de fósforo y carbono en las micorrizas VA." 297-324.
- Jasper, D., L. Abbott y A. Robson 1992. "Soil disturbance in native ecosystems the decline and recovery of infectivity of VA mycorrhizal fungi." CAB International, Wallingford: 151-155.
- Jeffries, P., S. Gianinazzi, S. Peretto, K. Turnau y J. M. Barea 2003. "La contribución de las micorrizas arbusculares en el mantenimiento sostenible de la sanidad vegetal y la fertilidad del suelo." *Biol. Fertil suelos*: 1-16.
- Koide, R. T. y B. Mosse 2004. "A history research on arbuscular mycorrhiza." *Mycorriza*: 145-163.
- Lagarda, M. A. 2006. "Altas densidades de plantación de nogal." *Memoria.XIV Congreso Nacional de nogal. Nogatec. Torreón Coahuila*: 26-32.
- Lopez M, I. 1985. "Poda de fructificación en nogal." *CAELALA-INIA*: 14-18.
- Marquard, R. D. 1991. "Effect of the pollen parent on fertilization success." 175-179.

- Marschner, H. y B. Dell 1994. "La absorción de nutrientes en la simbiosis micorriza. Planta suelo." 89-102.
- Marschner, H. 1995. "Mineral nutrition of higher plants." Second Edition. Academic Press Inc. Mexico, D.F: 245-281.
- Marx, D. H., M. G. Brundrett y B. Kendrick 1990. "Tree host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*." Canadian Journal of Microbiology: 23:217-223.
- McEachern, R. G. 1985. "Pecan fertilization." AES- Texas A&M University: 90-91.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby 1987. "Principles of plant Nutrition." 4th. Ed. International Potash Institute. Suiza: 685.
- Miyamoto, S. 2002. "Guidelines for developing soil and water management programs: Irrigated pecans." TAES-TWRI- The Texas A&M University System: 12.
- Morton, J. B. y G. L. Benny 1990. "Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae'." Mycotaxon: 471–491.
- Morton, J. B., S. P. Bentivenga y J. D. Bever 1995. "'Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes)'." Canadian Journal of Botany. 25–32.

- Morton, J. B. y D. Redecker 2001. "Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters'." *Mycologia*: 181–195.
- Mosse, B., D. P. Stribley y E. Le Tacon 1981. "Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi'." 137–210.
- Mukerji, K., M. Jalpal y R. Rani 1999. "The Importance of Micorhizae for Roots and Plant Roots and Their Enviroment." *Proceeding of an ISSRR, Iupsala Symposium*: 249.
- Núñez, M. J. 2001. "Desarrollo del nogal pecanero." *Libro técnico No. 3. CECH INIFAP*: 23-38.
- Ojeda, D. L., B. A. Nuñez, A. T. Manríquez, J. L. Ibave y C. Sánchez 2005. "Fertilización Tradía: Manejo de nitrógeno en árboles en desarrollo y producción de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangenh K. Koch)." *XI Congreso Nacional SOMECH. Chihuahua, Chih. México*.
- Peña, V. C., G. I. Cardona, Mazorra A., Arguellez J. H. y A. L. Arcos 2006. "Micorrizas arbusculares de la Amazonia Colombia." *Catalogo Ilustrado. Instituto Amazonico de Investigaciones Cientificas SINCHI (En prensa)*.
- Pimm, L. S. 1997. "El valor de todo. Naturaleza." 231-232.

- Robertson, G. P. y S. M. Swinton 2005. "Conciliación de la productividad agrícola y la integridad del medio ambiente es un gran desafío para la agricultura." *La Sociedad Ecológica de América*: 3:39-46.
- Roman, F. 2003. "Concentración de reguladores de desarrollo vegetal inducida por hongos ENDOMICORRIZICOS en dos cultivares de Chile (*Capsicum annum* L.). Colima-México. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias." 121.
- SAGARPA 2005. "Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México, D.F."
- Sánchez, D. P. M. y A. R. Posada 2010. "Metodologías básicas para el trabajo con micorrizas arbusculares y hongos formadores de micorriza arbuscular." Sede Palmira, Universidad Nacional de Colombia.
- Sanders, I., A. Monica, K. Groppe, T. Boller y A. Wiemken 1995. "Identification of ribosomal DNA polymorphisms among and within spores of the Glomales: application to studies on the genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities." *New Phytol*: 419-427.
- Schübler, A., D. Schwarzott y C. Walker 2001. "A new fungal phylum: the Glomeromycota *Mycol Res.*" 105:1413.
- Sharpe, R. y D. Marx 1986. "Influence of soil pH and *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on growth and nutrient uptake of pecan seedling." *HortScience*: 21:1388-1390.

SIAP 2013. "Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera."

Siquiera, J., D. Hubbell y N. Schenk 1985. "Spore germination and germ tube growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in vitro." *Mycologia*: 952-959.

Smith, S. E. y N. A. Walker 1981. "A quantitative study of mycorrhizal infection in *Trifolium*: separate determination of the rates of infection and of mycelial growth." 225-240.

Smith, S. E. y V. Gianinazzi-Pearson 1988. "Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants." *Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology*: 221-244.

Smith, S. E., A. D. Robson y L. K. Abbott 1992. "The involvement of mycorrhizas in assessment of genetically dependent efficiency of nutrient uptake and use." *Plant and soil*: 169-179.

Smith, S. E. y D. J. Read 1997. "Mutualism and Parasitism: biodiversity in function and structure in the arbuscular (VA) mycorrhizal symbiosis." *ADV. Bot*: 1-43.

Smith, S. E. y D. J. Read 1998. "Mycorrhizal Symbiosis." 2da edicion. San Diego. CA, USA: Academic Press.

Smith, S. E. y D. J. Lee 2008. "Simbiosis micorriza." 3^a ed. Académico, Londres.

Smith, S. E. y D. J. Read 2008. "Mycorrhizal symbiosis." 3rd ed. London : Academic Press. : 787.

Sparks, D. 1986. "Pecan. In: Handbook of fruit set and development." CRC Press: 323-337.

Sparks, D. 1993. "Manejo de huertas de nuez pecanera en climas calidos. Enfoque en la germinación prematura y apertura del ruzno. En XII Conferencias Internacionales sobre el cultivo del Nogal. Mexico."

Sparks, D. 1994. "Efectos nutricionales de la produccion alterna y calidad de la nuez." Memorias de las XII Conferencias Internacionales sobre el Cultivo del Nogal, Sonora.

Sparks, D. 2004. "A lettter from L.D. Romberg. Pecan South." 14-20.

Stockton, A. 1985. "Interpreting pecan tree nutritional levels through leaf analysis. In: Nineteenth West. Pecan Conf. Proc. CES-New Mexico State University." 26-28.

Tarango, R. S. 1989. "Comportamiento del nogal en Ojinaga, Chihuahua, y algunos aspectos de manejo. Mexico." 20.

Tarango, R. S. y B. L. Ojedda 1999. "Efecto de la poda de renovación en el crecimiento, nutrición y producción de nogales de bajo rigor y alternancia completa." Agric. Tec. Mex: 123-133.

Tarango, R. S. 2001. "Efectos de la cianamida hidrogenada en la fenología del nogal ((Carya illinoensis (Wang.) K. Koch)). Variedades Western y Wishita. Mexico." 22.

- Tarango, R. S. H. 2004. "Manejo del nogal pecanero con base en su fonología, Folleto Técnico No 17 del INIFAP- Delicias. Centro de investigaciones regionales norte-centro campo experimental Delicias, Chihuahua, México." 35.
- Tommerup, I. 1983. "Spore dormancy in vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi." Mycological Society: 37-45.
- Valdez, G. B. 2001. "Irrigation. En: el nogal pecanero en Sonora. Mexico " CECH-INIFAP: 93-112.
- Van der Heijden, M. G., J. N. Klironomos, M. Usic, M. Peter, Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken y S. Sanders 1998. "Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity." Nature: 396: 60-72.
- Walker, C., C. W. Mize y J. H. S. McNabb 1982. "Populations of endogonaceous fungi at two locations in central Iowa." Canadian Journal of Botany: 60:2518-2529.
- Walker, C. M. y E. Sanders 1986. "Taxonomic concepts in the Endogonaceae. III. The separation of Scutellospora gen. nov. from Gigaspora Gerd and Trappe." Micotaxon.: 169-182.
- Walworth, J. 2002. "Potassium an phosphorus fertilization program in pecan orchards." 38-46.

- Wallace, K. J. 2007. "Clasificación de los servicios de los ecosistemas: problemas y soluciones." *Biol. Conserv.* 139:235-246.
- Wolstenholme, B. y J. B. Storey 1970. "Fruit development gives producers management timetable. *The Pecan Quarterly.*" 15-19.
- Wolstenholme, B. N. 1990. "Climate. In: *Texas pecan profitability handbook.*" 12-19.
- Wood, B. W. 2002. "Late nitrogen fertilization in pecan orchards: a review." 47-59.
- Wyss, P. y P. Bofante 1993. "Amplification of genomic DNA of arbuscular mycorrhizal fungi by PCR using short arbitrary primers." *Mycological Research* 1351-1357.
- Zeze, A., E. Sulistyowati, K. Ophelkeller, S. Barker y S. Smith 1997. "Intersporal genetic variation of *Gigaspora margarita*, a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus, revealed by M13 minisatelite- primed PCR." *Applied and Environmental Microbiology*: 63:676-678.