

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**



Evaluación de diversidad de hongos micorrícicos arbusculares asociadas a *Zea mays* en cultivo orgánico

Por:

**ROSALINDA PÉREZ ROBLERO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Evaluación de diversidad de hongos micorrícicos arbusculares asociadas a *Zea mays* en cultivo orgánico

Por:

**ROSALINDA PEREZ ROBLERO**

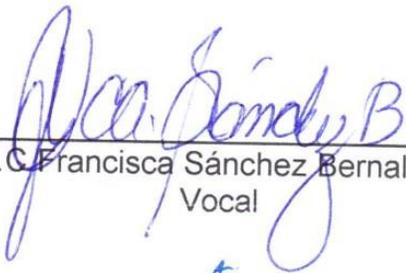
TESIS

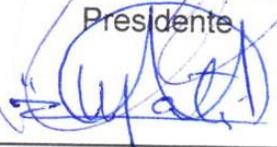
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

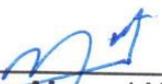
**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

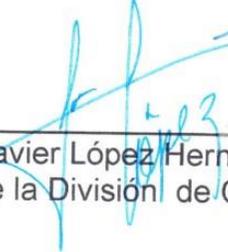
Aprobada por:

  
M.C Genoveva Hernández Zamudio  
Presidente

  
M.C Francisca Sánchez Bernal  
Vocal

  
M.E Víctor Martínez Cueto  
Vocal

  
Ing. Juan Manuel Nava Santos  
Vocal Suplente

  
M.E Javier López Hernández  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2018



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**

Evaluación de diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociadas a *Zea mays* en cultivo orgánico

Por:

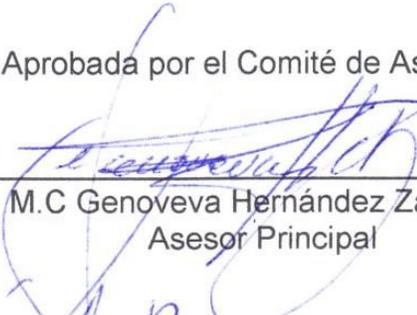
**ROSALINDA PEREZ ROBLERO**

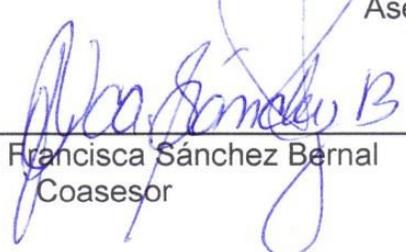
TESIS

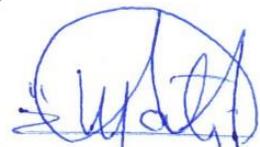
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

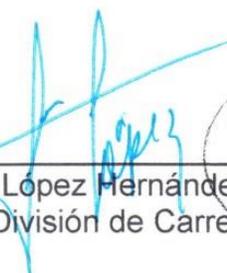
**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
M.C Genoveva Hernández Zamudio  
Asesor Principal

  
M.C Francisca Sánchez Bernal  
Coasesor

  
M.E Víctor Martínez Cueto  
Coasesor

  
M.E Javier López Hernández  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2018

## AGRADECIMIENTO

En principal Agradezco **a mi querido Dios** por las maravillas que me dio, por dar una sabiduría de un buen aprendizaje, bendiciones sobre mí y por qué siempre fue mi protector en esta etapa de mi vida.

Agradezco **a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por ser mi casa durante cuatro años y medio por ser mi techo en las buenas y malas. Por haber compartido momentos inigualables, por mostrarme un valioso camino a seguir.

**A mis queridos Padres Miguel Pérez Méndez y Everilda Roblero Roblero** por ser personas a seguir, por haberme traído a este mundo, la confianza que me brindaron cada momento vivido, el apoyo económico, que sin ellos no pudo ser posible, agradecida por el amor que me tiene, palabras y consejos valiosos, aprecio sus valores que me regalaron y por su eterna confianza. Gracias padres.

A mis **Hermanos(a)** que día tras día me alimentaban de sus consejos, donde al igual que yo luchamos día, noche, tiempos de oscuridad, tristeza, alegrías, y momentos de felicidad siempre confiaron en mí.

A mis **Tíos(a)** gracias por su gratitud que siempre me brindaron, y en especial a mi tío **Tony Pérez** agradecida con Dios por haberlo puesto en mi camino por su confianza y apoyo que siempre me brindo.

A mis **Primos(a)** por su completo apoyo que a medida del tiempo me dieron.

En este punto quiero agradecer a mis queridos **Maestros(a)** que me regalaron un poquito de su valioso tiempo sin duda fueron extraordinario, dándome un buen aprendizaje al igual por los consejos de cada uno de ellos para enfrentar un nuevo mundo que está por venir y gracias por las clases donde cada uno se desempeñó muy bien en cada materia diferente una experiencia vivida.

Agradecida **a mi asesora de tesis Bióloga Genoveva Hernández Zamudio** por el apoyo, esfuerzo que me brindo durante la elaboración de este proyecto en especial por su tiempo brindado al igual su conocimiento aportado,

gracias por regalarme esa paciencia en dudas que me surgieron en este largo proceso y gracias por colaborar como maestra en mi etapa de la carrera.

*Estas líneas es **para mí asesor Biólogo Blanco** que durante toda la carrera me ayudo y que siempre me insistió por ir por un buen camino y madurar en las cosas de la vida, Dios me lo bendiga siempre.*

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado especialmente a las personas nombras por las que me fortalecieron con su apoyo y las que siempre creyeron en mi...*

### ***A dios***

*Por haberme permitido llegar hasta este nivel de estudio y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita Bondad, Fe y Amor.*

### ***Padres***

*Papa y mama, este trabajo lleva su nombre gravado fruto de esfuerzo que me brindaron dedicado especialmente a ustedes los amos.*

### ***Tutora***

*Bióloga Genoveva está dedicado a su honor por la sabiduría que me brindo durante su valioso tiempo es una gran persona.*

### ***Familia***

*Tíos(a), primos(a), cuñada, sobrino, abuelo Rutilo, abuelo Román dedicado para ustedes por creer, en los mares más profundos siempre emergeré con la fuerza de siempre téngalo presente gracias familia.*

### ***Asesores de tesis***

*En hora buena son grandes personas con un respeto de mi parte por haber luchado conmigo para concluir este proyecto. Gracias. Ing. Cueto. Ing. Nava y M.C. Francis.*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la diversidad de los hongos micorrícicos arbusculares HMA y Porcentaje de micorrización en raíces de maíz (*Zea mays L.*) sembrado orgánicamente. Este estudio fue realizado en el área de cultivo del Departamento de Agroecología, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, donde se muestrearon 15 plantas del maíz en la etapa de floración, muestreo de suelo y raíz. Posteriormente se identificaron los géneros de micorrizas, encontrando siete géneros, sobresaliendo el género *Diversispora* en conteo elevado con 510, mientras que el género *Sclerocystis*, obtuvo el menor número con dos. Referente a las familias, la de mayor presencia fue familia *Glomeraceae*, con los géneros *Glomus*, *Funeliformis mossaea*, *Funeliformis*, *Funeliformis geosporum* y familias que se presentó son *Ambisporaceae*, *Diversisporaceae*. Lo cual en las estructuras de hifas fue alto y poca presencia de arbusculos y formación de vesículas.

**Palabras claves.** Maíz (*Zea mays L.*), Hongos micorrizicos arbusculares, Cultivo, Orgánico. Maíz criollo

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the diversity of the arbuscular mycorrhizal fungi AMF and percentage of mycorrhization in roots of corn (*Zea mays* L.) planted organically. This study was conducted in the area of culture of the Agroecology Department of the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Laguna Unit, where 15 maize plants were sampled at the flowering stage, soil and root sampling. Subsequently, the mycorrhizal genera were identified, finding seven genera, the *Diversispora* genus standing out in a high count with 510, while the genus *Sclerocystis* obtained the smallest number with two. Concerning the families, the one with the greatest presence was the Glomeraceae family, with the genera *Glomus*, *Funeliformis mossaea*, *Funeliformis*, *Funeliformis geosporum* and families that were presented as Ambisporaceae, Diversisporaceae. This in the hyphal structures was high and little presence of arbusculos and formation of vesicles.

**Keywords.** Maize (*Zea mays* L.), Arbuscular mycorrhizal fungi, Farming, Organic, Maize creole.

# INDICE

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos generales.....	4
1.1.1 Objetivos específicos .....	4
1.2 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Historia de la agroecología.....	5
2.2 Que es la agroecología? .....	5
2.3 La Agroecología en Latinoamérica.....	6
2.4 La Agroecología en México.....	8
2.5 Sustentabilidad .....	9
2.6 Suelo.....	10
2.7 Propiedades físicas del suelo .....	11
2.7.1 Textura.....	11
2.7.2 Estructura de suelo.....	12
2.7.3 Densidad del suelo.....	12
2.7.4 Porosidad del suelo .....	13
2.8 Propiedades químicas del suelo.....	13
2.8.1 PH del suelo.....	13
2.8.2 La capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	14
2.8.3 Materia orgánica.....	14
2.9 Origen del maíz .....	15
2.9.1 Clasificación taxonómica del maíz (Zea mays L) .....	15
2.9.2 Importancia del maíz.....	16
2.9.3 Productividad en el mundo .....	17
2.10 Maíces nativos.....	18
2.10.1 Conservación in-situ.....	19
2.10.2 Características de maíces nativos .....	20
2.11 Maíces criollos .....	21
2.12 Evolución de la Agricultura Orgánica .....	21
2.12.1 Definición de agricultura orgánica.....	22
2.12.2 Agricultura orgánica en México .....	22

2.12.3	Importancia de la agricultura orgánica.....	22
2.13	Definición de micorrizas .....	23
2.14	Tipos de micorrizas .....	23
2.14.1	Endomicorrizas.....	24
2.14.2	Ectomicorrizas .....	25
2.14.3	Entendomicorizas.....	25
2.15	Hongos Micorrizicos Arbusculares HMA.....	26
2.16	Clasificación de los Hongos Micorrícicos Arbusculares HMA .....	27
2.17	Descripción de géneros de HMA .....	28
2.17.1	Acaulospora .....	29
2.17.2	Glomus.....	29
2.17.3	Archaeospora.....	29
2.17.4	Gigaspora .....	30
2.18	Estructura de HMA.....	30
2.18.1	Arbusculos .....	31
2.18.2	Vesículas .....	31
2.18.3	Esporas.....	31
2.18.4	Hifas .....	31
2.19	Importancia de las micorrizas arbusculares .....	32
2.20	Factores que afectan el desarrollo de actividad de los HMA.....	33
2.21	Efecto de las micorrizas en cultivo de maíz (Zea mays L.).....	33
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1	Localización geográfica de la Comarca Lagunera .....	34
3.2	Localización del experimento .....	34
3.3	Toma de muestras en campo .....	35
3.3.1	Raíces.....	35
3.3.2	Muestreo del suelo.....	35
3.4	Determinación y metodología .....	36
3.4.1	Evaluación de porcentaje de micorrización.....	36
3.4.2	Aislamiento de esporas e identificación de HMA.....	37
3.5	Se realizó el Análisis físico-químico de suelo orgánico en descanso.....	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
V.	CONCLUSIONES.....	44
VI.	LITERATURA CITADA.....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-Producción de maíz en el mundo por país (modificado de Faostat, 2012). -----	17
Cuadro 2.-Análisis físico-químico de suelo orgánico en descanso. -----	37
Cuadro 3.-Porcentaje de micorrización resultado de la evaluación de hongos micorrícicos asociados a maíz ( <i>Zea mays</i> L) en cultivo orgánico.-----	39
Cuadro 4.-Géneros y especies de esporas de hongos micorrícicos arbusculares asociadas identificadas en suelo con cultivo orgánico de maíz. -----	41
Cuadro 5.-Morfotipo y total de esporas por muestra encontrado en la evaluación de HMA asociados en maíz ( <i>Zea mays</i> L.) en cultivo orgánico.-----	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Triangulo de textura.-----	11
Figura 2.-Clasificación científica del maíz-----	16
Figura 3.-Clasificación de los HMA (Redecker, D., A. Schüßler, H. Stockinger, S. Stürmer, J. Morton y C. Walker. 2013). -----	28
Figura 4.-Muestreo de raíz y suelo en el cultivo del maíz.-----	35
Figura 5.-Espora e hifa <i>Zea mays</i> identificadas en la evaluación de diversidad HMA asociadas en maíz en cultivo orgánico-----	40

## I. INTRODUCCIÓN

Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista en una relación de raíces de la planta y grupos de hongos del suelo. Estos hongos dependen de la planta que son suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, por lo cual suministran nutrientes como minerales (especialmente de poco móviles como P); aportándolos algunos beneficios como: estimulación de sustancias reguladores de crecimiento, incremento de la tasa de fotosintética, ajuste osmótica cuando hay sequía, aumento de la fijación de N, incremento de resistencia a plagas, mejoramiento de agregación de suelo y mediciones de acciones e interacciones de la microflora y microfauna, que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces (Bethlenfalvay y Linderman 1992).

Estos hongos ayuda a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el enriquecimiento de materia orgánica y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a su proteína exudada por el micelio, la glomalina, contribuyendo a darle estructura y estabilidad al suelo, y mejora su capacidad de retención de agua (Guadarrama et al., 2004; Finlay, 2008).

Según Van der Heijden, 2002 las especies vegetales que forman micorrizas presentan una fisiología y una ecología diferentes de aquéllas que no forman esta asociación y se considera a la asociación micorrícica como uno de los factores promotores de la diversidad vegetal, al aumentar la adecuación de las plantas (supervivencia, crecimiento y reproducción) y facilitar su establecimiento, incluso bajo condiciones de estrés ambiental, lo cual tiene un impacto positivo en la diversidad de plantas, tanto a una escala poblacional como de las comunidades

vegetales. Es por ello el sistema de siembra es importante para que el cultivo realice una simbiosis exitosa.

En varias regiones de México los agricultores que cultivan variedades de maíz criollos en forma tradicional, contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad genética *in situ* del cultivo (Bommer, 1991). Los productores tradicionales mantienen las variedades locales al reproducirlas de una generación a otra y no perder la tradición (Louette y Smale, 1996) llegando a formarse nuevos tipos, variedades o razas (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982).

El maíz es el cultivo más importante de México desde el punto de vista alimentario, económico y sociocultural. Debido a lo anterior es importante conocer la diversidad de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) que colonizan al maíz criollo bajo este sistema de siembra. Surgió en los años 8000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), en el occidental de México Central y del Sur, a 500 km de la Ciudad de México (Wilkes y Goodman 1995).

El cultivo del maíz de cobertura aumenta mucho la micorrización, lo mismo que el sorgo que tiene alta la dependencia micorrícicos e incrementa su población ayudándolos en su componente más importante el suelo (Ferraris 2008).

La relación simbiótica entre los HMA y las raíces de la mayoría de las plantas es benéfica ya que el hongo coloniza la corteza de la raíz para obtener carbono a partir de la planta hospedera, mientras le ayuda a la planta a tomar nutrientes minerales, esta asociación es benéfica para la planta ya que dichos nutrientes es requerida para el crecimiento (Harrison y Van Buuren, 1995).

La diversidad funcional de los HMA es un factor importante, que determina la capacidad de los hongos para ayudar a la planta hospedera a tolerar las condiciones estresantes (Smith y Read 1997).

Es por ello que determinar la diversidad de los HMA en el cultivo de maíz criollo en un sistema de siembra orgánico es importante para saber la diversidad que existe de estos hongos para utilizarlos como la producción de inóculo para el cultivo.

## **1.1 Objetivos generales**

Evaluar la diversidad de los hongos micorrícicos arbusculares asociados al (Zea mays L.) Cultivado orgánicamente.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Diversidad de esporas en suelos de maíz criollo sembrado orgánicamente.
- Porcentaje de micorrización en raíces en maíz criollo sembrado orgánicamente.

## **1.2 Hipótesis**

- La diversidad y porcentaje de micorrización de HMA en maíz orgánico es alta.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Historia de la agroecología

El uso determinado de la palabra “Agroecología” viene de los años 70, pero la ciencia y práctica de la Agroecología son tan antiguas como los orígenes de la agricultura. A medida que los investigadores analizan las agriculturas indígenas, las que son reliquias modificadas de formas agroeconómicas más antiguas, se hace más notorio que muchos sistemas agrícolas desarrollados a nivel local, incorporan rutinariamente mecanismos para acomodar los cultivos a las variables del medio ambiente natural, y para protegerlos de la depredación y la competencia. Según (Hecht 1998).

La idea principal de la agroecología es ir más allá de las prácticas agrícolas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía. La agroecología es tanto una ciencia como un conjunto de prácticas. Como ciencia se basa en la “aplicación de la ciencia ecológica al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables” (Altieri 2002).

### 2.2 Que es la agroecología?

Como enfoque teórico y metodológico que, utilizando varias disciplinas científicas, pretende estudiar la actividad agraria y agroalimentaria desde una perspectiva ecológica según (Altieri 1987).

Gliessman et al (2007,13) define a la agroecología como la “aplicación de los conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo a los sistemas alimentarios sostenibles”.

### **2.3 La Agroecología en Latinoamérica**

En Latinoamérica, la agroecología académica ha tenido una expansión extraordinaria, que se expresa en el número de publicaciones, instituciones, congresos y nuevas sociedades científicas regionales y nacionales (Altieri 2008, Ferguson y Morales 2010).

Durante las últimas dos décadas, Cuba ha experimentado un proceso único de transformación social, tecnológico, energético y alimentario, surgido como respuesta a la tremenda crisis provocada por la desaparición de la Unión Soviética. Desde el inicio de la revolución hasta el colapso de las relaciones comerciales con el bloque socialista en 1989, el desarrollo económico de Cuba estuvo caracterizado por una modernización rápida, un alto grado de bienestar y de equidad social, y una fuerte dependencia externa (Warwick 2001).

La Habana el 90% de los vegetales frescos que se consumen, todos orgánicos, provenían ya de los huertos urbanos. Igualmente, la producción de verduras y vegetales pasó de 20.7 miles de toneladas en 1997 a 272 miles de toneladas en 2005 (Koont 2009).

La historia de la innovación en Brasil comienza en la década de los ochenta, llevando al menos dos figuras claves: J. Lutzenberger y sus

“Fundamentos Ecológicos da Agricultura” (1981), y M. Primavesi y su “Manejo Ecológico del Suelo” (1984). El primero alimentando una visión filosófica o un pensamiento alternativo; la segunda una detallada teoría de la salud del agroecosistema con base en el suelo. En las siguientes décadas los avances se expresan en tres vertientes siempre conectadas por vasos de comunicación. Dando origen a lo llevo a una teoría detallada de la salud del agroecosistema basado en la gestión del suelo (Khatounian 2002)

En el campo de la ciencia y la tecnología, Brasil ha logrado generar una corriente cada vez más amplia de investigadores, certificada por la realización de seis congresos nacionales de agroecología (2001-2009), el último de los cuales se hizo coincidir con el II Congreso Latinoamericano y fue atendido por cerca de 4,000 participantes, así como por la creación de la Sociedad Brasileira de Agroecología.

En el Reino de Andina la enorme presencia de un campesinado con profundas raíces históricas, un pasado pre-hispánico de gran desarrollo civilizatorio, y una fuerte resistencia y actividad políticas en las áreas rurales, hacen de la Región Andina, y especialmente de Perú, Ecuador y Bolivia, un escenario muy propicio para el desarrollo de la agroecología en su triple versión. Desde hace por lo menos dos décadas que los países andinos viven una creciente efervescencia social. Y este proceso político autogestivo de los pueblos andinos se ha ido afirmando en función de una capacidad sorprendente para la auto-organización.

## 2.4 La Agroecología en México

La agroecología en México surgió hacia finales de los setentas del siglo pasado y su principal precursor fue Hernández-Xolocotzi (1977), quien además le dio un especial énfasis a los saberes campesinos. En el caso de México, las experiencias agroecológicas no se reducen ni se centran en la agricultura y la ganadería, sino que atañen más a un manejo ecológicamente adecuado de los recursos naturales locales, incluyendo las áreas forestales (con bosques, selvas y matorrales) y la conservación de la agro-bio-diversidad.

En esa región florecieron numerosas sociedades a partir de la domesticación del maíz y de otras cien especies de plantas -la mayoría alimenticias-, un proceso que llevó unos 7,000 años. La población indígena mesoamericana actual, alcanza los 12 millones, se distribuye en 26 regiones y cubre los principales hábitats del territorio mexicano (Boege 2008).

En el contexto de la producción mundial de café, México, ocupa actualmente el quinto lugar en términos de volumen y de superficie cosechada. Se estima que el número de productores de café alcanza aproximadamente los 200 000, quienes cultivan alrededor de 777,000 ha. En México, el 70 % de la producción de café la realizan productores de comunidades rurales. Una gran parte de este sector comunal está formada por productores indígenas de 28 culturas. (Moguel y Toledo 1996). Como resultado de lo anterior, México es el primer país productor de café orgánico

certificado del mundo (representando la quinta parte del volumen total), una parte substancial del cual es generado por productores indígenas. Se estima que unas 300,000 hectáreas de cafetales se encuentran como “jardines de café” bajo sombra y constituyen más del 80% de la producción orgánica del país (Moguel y Toledo, 2004).

En suma, hoy en día los territorios campesinos e indígenas contienen los principales yacimientos hidráulicos, biológicos, genéticos y de vegetación del país, creando una riqueza biocultural única en México (Toledo et al. 2010).

## **2.5 Sustentabilidad**

La sustentabilidad es el camino para encontrar el equilibrio económico, ecológico y social, dando como resultado la prosperidad y la capitalización de nuevos recursos. En la teoría de recursos y capacidades, la noción de sustentabilidad competitiva está referida al equilibrio (Barney, 1991; Rumelt, 1984).

Dow Jones Sustainability Indexes (1999): son los primeros índices globales que siguen el desempeño financiero de las principales empresas impulsadas por la sostenibilidad en todo el mundo. Estos indicadores permiten comparar a través de una serie de cuestiones que caen dentro de las siguientes cinco categorías generales:

- (i) Sistemas ambientales.
- (ii) La reducción de tensiones ambientales.

(iii) Reducir la vulnerabilidad humana frente a las tensiones ambientales.

(iv) Capacidad social e institucional para responder a los retos medioambientales.

(v) la gestión global.

## **2.6 Suelo**

El edafólogo francés Philippe Duchaufour definió en 1975 el suelo como una “colección de cuerpos naturales de la superficie terrestre que soporta plantas, que llega desde los materiales no consolidados e inorgánicos que yacen en la zona de las raíces de plantas nativas perennes a donde se han desarrollado horizontes impermeables a las raíces o los dos metros más superficiales de propiedades distintas al material rocoso subyacente, como resultado de la acción de organismos vivos, clima, roca madre y relieve”.

Tarbuck y Lutgens (1999) consideran la Tierra como un sistema dentro del cual el suelo es una interfase donde interactúan diferentes partes de aquel: la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Debido a esto, el suelo es dinámico y sensible a prácticamente todos los aspectos de su entorno. Estos autores hacen énfasis en un hecho fundamental que sustenta la razón de ser de la Ciencia del Suelo: El suelo no es simplemente el material producido por la meteorización que se ha acumulado en la superficie terrestre, es decir, el suelo no es producto de la meteorización.

## 2.7 Propiedades físicas del suelo

Una propiedad física química o biológica del suelo es aquella que caracteriza al suelo; por ejemplo, la composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo en que ha actuado el interperismo (desintegración por agentes atmosféricos), por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Volke et al., 2005).

### 2.7.1 Textura

Se consideran partículas del suelo cuyo tamaño es menor a 2 mm. Estas partículas del suelo se clasifican según su tamaño en arena, limo y arcilla. Las partículas de tamaño superior a 2 mm. Se consideran fragmentos gruesos del suelo, y se clasifican según su tamaño en grava, piedra y roca. (Figura 1) triangulo de textura (Buckman y Brady, 1966).

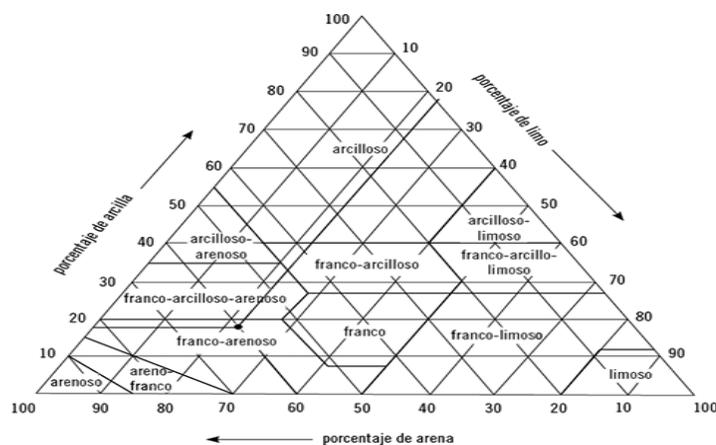


Figura 1.-Triángulo de textura.

### **2.7.2 Estructura de suelo**

La estructura del suelo es la forma de agregación natural de las partículas del suelo, para formar unidades de mayor tamaño con carácter más persistente. Estas unidades se denominan agregados. Su formación se debe a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de las arcillas, lo que da como resultado unas interacciones físico-químicas con los demás componentes del suelo.

### **2.7.3 Densidad del suelo**

En el suelo se consideran dos tipos de densidad: densidad aparente y densidad real. Densidad aparente ( $d_a$ ): es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo, y se expresa el resultado en  $\text{kg/m}^3$ .

La densidad real ( $d_r$ ) es la densidad de las partículas sólidas del suelo. Se determina dividiendo el peso del suelo secado a estufa por el volumen que ocupan los sólidos.  $\checkmark$  La densidad real de los suelos minerales más comunes varía de 2.500 a 2.700  $\text{kg/m}^3$ .  $\checkmark$  La densidad aparente de los suelos varía según la textura y estructura entre los 1.100 y los 1.900  $\text{kg/m}^3$ .

#### **2.7.4 Porosidad del suelo**

Los huecos que dejan entre sí las partículas sólidas del suelo pueden ser: Poros. Huecos que dejan las partículas y los agregados. Tienen contornos irregulares y están conectados entre ellos, lo que favorece la circulación de agua y aire. Canales: Huecos comunicantes que se forman por la actividad de la fauna del suelo. Fisuras o grietas: Huecos intercomunicados que se forman como consecuencia de la retracción del suelo (Aguilera, 1989).

### **2.8 Propiedades químicas del suelo**

#### **2.8.1 PH del suelo.**

PH del Suelo Una de las características del suelo más importantes es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad (Buckman y Brady, 1966).

Existen dos grupos de factores que provocan cambios en el pH del suelo: (1) los que resultan del aumento del hidrógeno adsorbido y (2) los que aumentan el contenido de bases adsorbidas. Uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica ya que se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos; el ácido orgánico que se encuentra con mayor frecuencia es el ácido carbónico ( $\text{CO}_3 \text{H}_2$ ). Éste ácido remueve grandes cantidades de bases por disolución o lixiviación. Los ácidos inorgánicos, tales

como ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y el ácido nítrico ( $HNO_3$ ), son reservorios importantes de iones H en el suelo. (Buckman y Brady, 1966).

### **2.8.2 La capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

CIC De una muestra de suelo o de alguno de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada. Un mol de carga positiva equivale a  $6.02 \times 10^{23}$  cargas de cationes adsorbidos. En unidades SI la CIC se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo,  $cmol (+) kg^{-1}$  o bien  $cmolc kg^{-1}$ . Con anterioridad se venía utilizando como unidad el  $meq/100g$ , cuyo uso se halla todavía muy extendido. El valor numérico es el mismo con ambas unidades (Porta et al., 2003).

### **2.8.3 Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, que se obtiene de la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el

centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la microflora y la fauna (Bornemisza, 1982).

## **2.9 Origen del maíz**

El maíz surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México (Wilkes, H y Goodman, M, 1995).

México es el centro primario de diversidad genética y la Zona Andina el secundario, donde el cultivo del maíz ha tenido una rápida evolución. De las 50 razas encontradas en México, existen siete homólogas en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil, lo que hace que indiscutiblemente México haya sido el centro de difusión de estas, donde alrededor de 27 o más de la mitad de ellas han permanecido como variedades locales endémicas según (Wilkes, G, 1988).

### **2.9.1 Clasificación taxonómica del maíz (*Zea mays* L)**

Pertenece al género *Zea* de la familia *Poaceae* que comprende más de 600 géneros. Los dos géneros del Nuevo Mundo más emparentados con el maíz son *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1977; Rzedowski ,2001).

El género *Zea* contiene cinco especies de México y Centro América: *Zea diploperennis* Iltis; *Zea perennis* (Hitchcock); *Zea luxurians*; *Zea mays* Linnaeus y la descrita recientemente *Zea nicaraguensis*. *Zea mays* L., es la especie a la que corresponde el maíz (forma cultivada del género), la cual debido a su estrecha

relación biológica ha sido agrupada con los teocintles de las subespecies parviglumis y mexicana (Doebley e Iltis 1980).

**Reino:** Plantae  
**División:** Anthophyta.  
**Clase:** Monocotiledonea.  
**Orden:** Commenlinales.  
**Familia:** Poaceae.  
**Género:** Zea  
**Especie:** mays  
**Nombre científico:** *Zea mays*

Figura 2.-Clasificación científica del maíz

### 2.9.2 Importancia del maíz

El maíz goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40 % del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para ganado y establecimientos avícolas (PALIWAL, 2001 c).

El maíz cumple un rango mayor el campo mexicano por su gran consumo que se le da, tanto desde el punto de vista alimentario, como industrial, político y social. De esta cultivo, se cosecharon en 2014 cerca de 23 millones de t en 7 millones de a lo cual su cifra va aumentando (SIAP, 2015).

### 2.9.3 Productividad en el mundo

Son muchos los países que se dedican al cultivo del maíz, siendo los que más cantidad producen Estados Unidos, China, Brasil, México y Argentina. El maíz tropical se cultiva en 66 países, siendo importante económicamente en la mayoría de ellos. El rendimiento de cultivo del maíz tropical es algo más bajo que el del maíz templado, así como la productividad; en contra, el ciclo de cultivo en los países templados es mucho más largo. Hay alguna excepción, como el maíz cultivado en los trópicos durante el invierno, donde la productividad tropical se iguala mucho a la de las zonas templadas (Paliwal, 2001).

Cuadro 1.-Producción de maíz en el mundo por país (modificado de Faostat, 2012).

<i>País</i>	<i>Producción(ton)</i>
Alemania	4991000
Argentina	211966337
Austria	2351370
Brasil	71072810
Canadá	11703100
China	2081310000
Egipto	8093646
España	4234600
Etiopia	6158318
Francia	15614100
Grecia	2009800
Hungría	4741500
India	21060000
Indonesia	19377030
Italia	8194600
Malaw i	3618699
<b>México</b>	<b>22069254</b>
Nigeria	9410000

Pakistán	4631000
Paraguay	3079000
Rumania	5953352
Rusia	8212924
Serbia	3532602
Sudáfrica	11830000
Tailandia	4813000
Tanzania	5104248
Turquía	4600000
Ucrania	20961300
USA	273832130
Vietnam	4803196

---

## 2.10 Maíces nativos

En México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas, Esta diversidad es producto de milenarias prácticas agrícolas vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México, principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma nativo (Toledo-Manzur y Barrera-Bassols, 2008).

Como ventajas de estos maíces destacan las siguientes: mejor manejo del riesgo agrícola, adaptación a las condiciones climáticas, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción, y muy importante, aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales (Turrent., 2012).

Con respecto a la caracterización de las razas nativas, cabe mencionar que durante mucho tiempo la investigación se ha centrado en el rendimiento de materia seca del grano y otros rasgos agronómicos.

El flujo génico entre el maíz y sus parientes silvestres ocurre regularmente, a tasas variables dependiendo de las especies involucradas y es una de las fuentes de variación genética de las razas de maíz.

### **2.10.1 Conservación *in-situ***

En muchas regiones de México los agricultores que siembran maíz (*Zea mays* L) contribuyen a la conservación y generación de la diversidad genética *in-situ*. Por lo tanto también así se hacen las prácticas donde los mantienen las variedades locales tradicionales al pasar en generación de generación (Bommer. 1991: Louette y Smale 1996).

La conservación del germoplasma nativo depende fundamentalmente de la protección que se otorgue a los agricultores en pequeña escala a través de subsidios, asesoría técnica, y con programas de desarrollo rural bien planeados y adaptados a las condiciones reales del medio (Kato et al., 2009).

Las acciones que se propongan para potenciar el uso de variedades nativas locales deben considerar las barreras propias de la composición y características del grano, las barreras del manejo poscosecha y las de carácter organizacional y económicas (Hellín et al., 2010).

Lo que nos lleva para la conservación *in situ* a las alternativas complementarias a la conservación *ex-situ*. Sus alcances y beneficios son

mayores, ya que no solamente están relacionados con la diversidad genética en sí. Particularmente, la conservación de la agrobiodiversidad contribuye a:

- El mantenimiento de los procesos de adaptación y evolución de los cultivos que permiten el desarrollo de germoplasma nuevo.
- A los procesos de conservación de suelo.
- Reducción del uso de plaguicidas; fortalece la economía de la unidad familiar al depender menos de insumos externos.
- Representa soberanía productiva y del territorio, ya que es llevada por los agricultores y poseedores de los recursos, quienes deberían ser los más indicados para percibir cualquier beneficio proveniente del material genético que ellos conservan.

### **2.10.2 Características de maíces nativos**

Los usos culinarios y especiales de las razas nativas de maíz quedan determinados por las características fisicoquímicas del grano. El conjunto de pruebas para la evaluación de calidad incluye la determinación de la composición química, caracteres biofísicos y propiedades microestructurales de los granos, así como la evaluación de las propiedades térmicas del almidón, Las características de mayor definición en el grano respecto al uso alimentario son la dureza (índice de flotación), el

tamaño y la gravedad específica así como la capacidad de absorción de agua (Mauricio-Sánchez et al., 2004).

### **2.11 Maíces criollos**

Según Vos et al. 1995. La caracterización molecular de maíces criollos tiene aplicación práctica en el mejoramiento vegetal tanto para la identificación de genotipos nativos, como para la estimación de relaciones genéticas.

INEGI en (2014) describió que hay un total de 82.2% en superficie cultivada en México utilizando las variedades criollas, además de estar adaptadas a la condiciones climáticas y tecnológicas de productores que tienen características que responden a sus gustos alimenticios de población y cultura muy específica. Es muy regular que campesinos de comunidades rurales o indígenas acostumbran sembrar con variedad criollas para su principal uso en alimentación, que han generado filogenético de biodiversidad con más de 50 razas nativas reconocidas que a la vez son promotores naturales de la conservación (kalo et al., 2009).

### **2.12 Evolución de la Agricultura Orgánica**

La agricultura orgánica surge en la época holística donde se involucran procesos técnicos, sociales, económicos y agroecológicos, dándole como opción el desarrollo capaz de consolidar la producción de alimentos saludables en el mercado altamente competitivo y creciente (Amador, 2005). Una Tendencia por el consumo de productos libres de residuos tóxicos, sanos para el medio ambiente.

### **2.12.1 Definición de agricultura orgánica**

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), dice que la agricultura orgánica es un sistema integral de producción que fomenta y mejora la salud del agro sistema, en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos así como la actividad biológica del suelo, y prácticas agroecológicas los términos utilizados la agricultura orgánica son: biológica o ecológicos

### **2.12.2 Agricultura orgánica en México**

México ocupa el 18º lugar por superficie orgánica y el primero en la producción de café orgánico. Al interior del país, este sector es el subsector agrícola más dinámico, pues para el año del 2002 alcanzo 216 mil hectáreas, Los pequeños productores conforman el 98% del total de productores orgánicos, cultivan el 84% de la superficie y generan el 69% de las divisas orgánicas del país (Gómez C. et. al., 2003:100-102).

### **2.12.3 Importancia de la agricultura orgánica**

Finalmente, cabe destacar sobre la importancia de la agricultura orgánica para el país radica en que se encuentra vinculada a los sectores más pobres del ámbito rural, a los grupos indígenas y productores de escasos recursos; a la producción sustentable de alimentos; a la recuperación y conservación ecológica de los recursos naturales; al mejoramiento de los ingresos y la calidad de vida de los productores, y, en general, con un desarrollo rural más incluyente (Gómez, 2004).

### **2.13 Definición de micorrizas**

Las micorrizas (del griego *myces*, hongo y *rhiza*, raíz) representan la asociación entre algunos hongos y las raíces de las plantas. El término “micorriza” fue posicionado por Frank, patólogo forestal alemán, en 1877, al estudiar las raíces de algunos árboles forestales.

Micorrizas es definida como términos funcionales y estructurales, como “órganos de absorción que se forman cuando los hongos simbiotes viven dentro de los órganos de absorción sanos (raíces, rizomas o talos) de las plantas terrestres, acuáticas o epífitas”. En esta asociación, la planta le proporciona al hongo carbohidratos (azúcares, producto de su fotosíntesis) y un microhábitat para completar su ciclo de vida; mientras que el hongo, a su vez, le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes minerales con baja disponibilidad en el suelo (principalmente fósforo), así como defensas contra patógenos. Ambos, hongo y planta, salen mutuamente beneficiados, por lo que la asociación se considera como un “mutualismo” (Trappe, 1994).

### **2.14 Tipos de micorrizas**

Se pueden identificar a los tres grupos fundamentales según la estructura de la micorriza formada que son: Ectomicorrizas o formadoras de manto; Entendomicorizas, y las Endomicorrizas, caracterizadas por la colonización intracelular del hongo (Read, 1999).

### 2.14.1 Endomicorrizas

Este tipo de micorrizas es muy extenso por su provocación de cambios en la raíz. No se puede ver el crecimiento denso de hifas en la superficie de la raíz donde no tiene un manto, como los diferentes tipos de micorrizas, pero si tiene una red miceliar interna. El micelio penetra la raíz. Donde es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales. Desde la rizodermis hasta las celulares corticales. Dentro de las células, forma minúsculas arborescencias muy ramificadas que se llama arbusculos. Al igual que vesículas, que son órganos de reserva del hongo (Popoff O. 2008).

Las esporas de estos hongos por lo regular germinan en el suelo y colonizan las células corticales de una planta, dentro de la raíz, invagina el plasma de la célula vegetal y produce una estructura profusamente ramificada llamada arbusculos. Que es el sitio de intercambio de nutrimentos entre el hongo y la planta. La formación de esta estructura es una característica común de las MA. Conforme la colonización comienza a envejecer, el hongo produce sobre las raíces o dentro de ellas, estructuras de almacenamiento llamadas vesículas, las cuales contienen abundantes lípidos (Bonfante P. 1984). La formación de estas estructuras va a depender de la identidad de hongos: Gigaspora y Scutellospora no forman vesículas y producen en su lugar, de células auxiliares sobre el micelio externo o raramente dentro de la raíz (Walker C. 1992).

### **2.14.2 Ectomicorrizas**

Este tipo de micorrizas se trata de una interacción en la que las hifas de un hongo penetran las raíces secundarias de la planta para desarrollarse, rodeando las células de la corteza radical, y forman una trama intercelular denominada red de Hartig, además de una capa de micelio (conjunto de hifas que constituyen el cuerpo o talo del hongo) en la parte exterior de la raíz, llamada manto. Como resultado de este proceso, se forma una nueva estructura que puede ser reconocida y clasificada, denominada morfotipo.

Ectomicorrícico. Se refiere al arreglo y organización de los tejidos fúngicos (del hongo) en la raíz, mientras que los morfotipo son la caracterización completa de las estructuras ectomicorrícico en la raíz (Agerer, 1991). Es importante en áreas forestales ya que es requerida en diferentes etapas de ciclo de reproducción de los arboles proporcionándole protección de agentes patógenos.

Se Caracteriza por modificaciones morfológicas de la raíz que pierde sus pelos absorbentes y generalmente los extremos se ramifican profusamente y se acortan ensanchándose (Popoff O. 2008).

### **2.14.3 Entendomicorrizas**

Este tipo de micorriza en lo singular es especial ya que también tiene algunas características de Ectomicorrizas como red de Hartig y manto., presentando un grado de penetración intracelular como se presentan en las Endomicorrizas. Esta interacción se presenta principalmente entre hongos de los grupos Basidiomycotina y Ascomycotina, y plantas coníferas del género Pinus,

aunque también se ha reportado para algunas angiospermas (plantas con flores). (Peterson y Farquhar, 1994).

### **2.15 Hongos Micorrizicos Arbusculares HMA**

El Glomeromycota, el filo de hongos que contiene todos los conocidos Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA), han co-evolucionado con sus anfitriones ya que las plantas conquistaron el medio terrestre más de 430 millones de años atrás (Sturmer, 2012). Los HMA benefician a los ecosistemas terrestres en todo el mundo mediante el establecimiento de una asociación íntima con las raíces en la mayoría de las plantas: la simbiosis micorrízicos (Johnson, 2010) .Los hongos Micorrízicos arbusculares (HMA) son simbioses obligados que habitan en las raíces de aproximadamente el 80%-90% de las especies de plantas, la mayoría forman esporas en el suelo que son capaces de germinar y crecer a partir de un estado de reposo, al igual que en respuestas a diferentes condiciones edáficas ambientales (Giovannetti *et al.*, 2010), esta simbiosis es el intercambio recíproco de nutrientes que resulta un beneficio nutricional para ambos simbioses donde el hongo adquiere el carbono de la planta y la planta obtiene nutrientes minerales del hongo como Fósforo (P), Nitrógeno, Calcio, Zinc, Cobre los más necesario para la planta en su desarrollo fenológico (Harrison *et al.*, 2010).

## 2.16 Clasificación de los Hongos Micorrícicos Arbusculares HMA

La taxonomía o clasificación de los Hongos Micorrícicos Arbusculares se basa principalmente en la morfología de sus esporas microscópicas, cuyos diámetros pueden variar de 20 a 1000  $\mu\text{m}$ , las cuales se pueden aislar del suelo cercas a

Raíces colonizadas. Todas las esporas son estructuras de gran resistencia a condiciones ambientales favorable, con paredes rígidas y resistentes, que les permiten permanecer en el suelo con mucho más vida latente, por largos tiempos y en condiciones climáticas variables. Los HMA se encuentran clasificados dentro del Phylum Glomeromycota,(figura 3) este grupo de hongos del suelo son bien conocidos para establecer asociaciones de micorrizas arbusculares en las plantas de tierra que se producen en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Stürmer *et al.*, 2013).

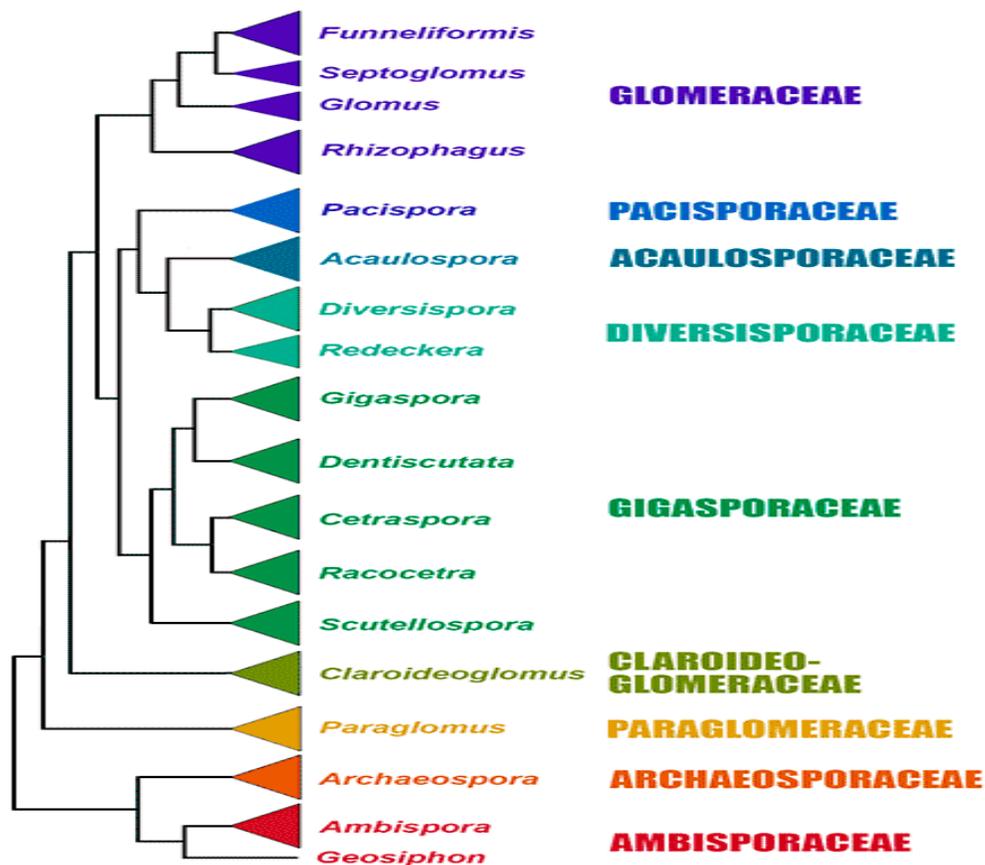


Figura 3.-Clasificación de los HMA (Redecker, D., A. Schüßler, H. Stockinger, S. Stürmer, J. Morton y C. Walker. 2013).

## 2.17 Descripción de géneros de HMA

La taxonomía de los *Glomales*, así como la de otros grupos de hongos, se han basado en el estudio de las características morfológicas a partir del color, forma y tamaño; los cual ha permitido agrupar los diferentes hongos de la naturaleza (Peña et al., 2006).

### **2.17.1 Acaulospora**

Esporas formadas a los lados del cuello de un sáculo esporífero el cual deja una cicatriz en la superficie de la espora. Las vesículas varían en forma con protuberancias y concavidades. Hifas intrarradicales rectas o enrolladas cerca de los puntos de entrada. La micorriza se tiñe débilmente. La pared germinal más interna tiene una superficie con excrecencias. Germinación a través de una estructura de germinación esférica, plana, flexible (Morton y Benny, 1990).

### **2.17.2 Glomus**

La especie está formada básicamente sobre una hifa de sostén, solitaria, en agregados laxos o en esporocarpos. Vesículas de pared delgada y elipsoides. Hifas intrarradicales raramente enrolladas, conectada a una hifa ramificada. La micorriza se tiñe muy oscura. Arbusculos con troncos aplanados o cilíndricos adelgazándose sucesivamente en las ramificaciones. Esporas con la pared esporal formada por un número variable de capas todas originadas a partir de la hifa de sostén. No se observan paredes germinales diferenciadas. Germinación a través del lumen de la hifa de sostén o a través de la pared de la espora (Morton y Benny, 1990).

### **2.17.3 Archaeospora**

Tenemos esta espora que termina de una hifa de sostén o como una ramificación de una estructura que semeja un sáculo esporífero. Los arbusculos e hifas intrarradicales se tiñen débilmente. Las vesículas y células auxiliares no están diferenciadas. La pared de la espora está formada por tres o cuatro capas y

no se forma una verdadera bicapa germina. Se presentan especies dimórficas formando esporas acaulosporoides y glomoides (Morton y Benny, 1990).

#### **2.17.4 Gigaspora**

Se encuentra sobre una célula esporógena bulbosa; células auxiliares finamente papiladas o equinuladas. No se forman vesículas. Hifas intrarradicales frecuentemente enrolladas, especialmente, cerca de los puntos de entrada; a menudo nodosas o con proyecciones. Arbusculos con troncos hinchados angostándose abruptamente en las ramificaciones. Esporas con la pared esporal formada por dos capas permanentes, no se diferencian paredes germinales. Al germinar, se diferencia una capa delgada con verrugas esparcidas y crece un tubo germinativo a través de la pared esporal (Morton y Benny, 1990).

#### **2.18 Estructura de HMA**

Según Abbott y Robson (1991) mencionan que las estructuras que forman los hongos micorrizicos arbusculares son esporas, arbusculos, vesículas e hifas. por lo cual se caracterizaron por presentar un crecimiento intra e intercelular en la corteza de la raíz y por formar las siguientes estructuras:

### **2.18.1 Arbusculos**

Son hifas ramificadas que se forman en el córtex de la raíz a los 2 días de haber sido penetrada, presentan periodos de vida cortos. Es el sitio de mayor interacción entre el hongo y el hospedero.

### **2.18.2 Vesículas**

Son estructuras globosas que se forman en la punta de las hifas, almacenan lípidos y citoplasma (Los géneros Gigaspora y Scutellospora no producen vesículas. Comúnmente se encuentran en plantas perene, plantas habitada por más tiempo y muy pocas en plantas anuales.

### **2.18.3 Esporas**

Se forman como hinchazón sobre una o más hifas sustentoras en el suelo o en las raíces la planta a la que se asocien. Pueden funcionar como propágulos lo cual no en todas las plantas se habitan.

### **2.18.4 Hifas**

Cuando se ramifican varias, se le llama micelio, las más gruesas tienen como función la conducción y las ramificaciones más finas absorben los nutrimentos del suelo (Sánchez, 2005).

Las hifas externas pueden ser de tres tipos según su morfología y las funciones que llevan a cabo: 1) Hifas infectivas, son las que inician los puntos de Colonización en una o varias raíces, 2) Hifas absorbentes son las que se encargan

de explorar el suelo para la extracción de nutrimentos y 3) Hifas fértiles son las que llevan las esporas (Silvia, 2009).

### **2.19 Importancia de las micorrizas arbusculares**

Las micorrizas mejoran el crecimiento de las plantas al aumentar su superficie de absorción de sistema radial: al absorber y acumular ciertos nutrientes, como el fósforo al solubilizar y hacer disponible a las plantas algunos minerales normalmente insolubles, al permitir que las raíces alimentadoras funcionen durante mucho más tiempo y hacer que las raíces alimentadoras sean más resistente a la infección que ocasionan algunos hongos del suelo tal como *phytophthora pythum* y *fusarium* (Agrios, 2002).

Las micorrizas hacen su función especialmente en suelos de baja y moderada fertilidad los estudios que se han llevado a cabo han puesto de manifiesto que dichos efecto se deben a que la micorriza mejora sustancialmente a la absorción de nutrientes y agua por la planta y que el principal nutriente implicado es el fósforo (Barea et al., 2002).

Con respecto a la importancia de la micorriza en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se ha comprobado que ésta simbiosis tienen un efecto benéfico, ya que inmoviliza los metales en la raíz, reduciendo su traslación a la parte aérea de la planta y, en consecuencia, el flujo de metales a la cadena trófica (Pawłowska et al., 1997). Lo cual pueden vivir en suelos altamente contaminados como por ejemplo los

metales pesados donde les afecta a las micorrizas lo que es el crecimiento micelio y su colonización (sierra, 2008).

## **2.20 Factores que afectan el desarrollo de actividad de los HMA**

Diversos factores pueden afectar el desarrollo, actividad y supervivencia de los HMA. Dentro de los más importantes, se encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y rotaciones de cultivos, de igual forma los factores medioambientales son determinantes (Gianianazzi, 1994).

La fertilización química aplicada puede disminuir de un 50 a 80%, ya que los HMA mejoran la absorción de nutrientes del suelo. Del 40 al 50% de los fertilizantes químicos aplicados se lixivian, contaminando suelos, ríos, arroyos, mantos freáticos y la atmósfera (Plenchette et al. 1983; Harrison, 1997).

## **2.21 Efecto de las micorrizas en cultivo de maíz (*Zea mays L.*)**

En cultivo se ha presentado cambios en su crecimiento y morfología que sea han relacionado las condiciones de estrés, plantas que se asocian con microorganismo del suelo como los HMA. Han sido el resultado de complejos procesos evolutivos que han desarrollado estrategias de adaptación (Rovedo G, 2007).

Experimentos muestran que plantas de maíz micorrizada, acumulada azúcares (carbohidratos) al haberse sometidos a temperaturas bajas, sequias y niveles bajos de radiación, lo cual cierta condición mejora la capacidad para soportar estrés (Rovedo G, 2007).

Estudio en el INIFAP en el 2002 realizados de validación e investigación varias regiones, en el caso de los valles centrales se establecieron dos hectáreas con 10 lotes en “parcelas apareadas” sembrado maíz criollo y la variedad V-233. Lo cual resulto un incremento de 11% en el rendimiento del grano con la aplicación de los HMA en comparando con el testigo (Aguirre M., Cano G. 2008).

### **III MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera**

La Comarca Lagunera se ubica entre los meridianos 24°56'18" y 25°17'52" grados latitud norte y los meridianos 103°30'34" y 103°05'15" grados latitud oeste de Greenwich, teniendo una altura de 1,120 msnm, región ubicada en el centro-norte de México.

#### **3.2 Localización del experimento**

Se estableció en el área de cultivo del Departamento de Agroecología, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Periférico y carretera a Santa Fe, Torreón Coahuila, México, situada en 103° longitud oeste y 25° de latitud norte, a una altura de 1122 msnm. La precipitación promedio anual es de 230 mm y la temperatura promedio mínima y máxima son de 30 y 40° C, y se presenta entre el mes de mayo a octubre respectivamente.

### 3.3 Toma de muestras en campo

#### 3.3.1 Raíces

Fueron obtenidas en el área de cultivo, se identificaron 15 plantas de maíz (*Zea mays* L) al azar todas las plantas se tomaron con el mismo desarrollo vegetativo en su etapa de floración y desarrollo foliar completo. Se tomó una muestra de raíz por planta (figura 4) con profundidad de 10 cm, esto para determinar el porcentaje de micorrización por lo cual las raíces ya limpias, se trasladaron al laboratorio para su posterior procesamiento.



Figura 4.-Muestreo de raíz y suelo en el cultivo del maíz.

#### 3.3.2 Muestreo del suelo

Las muestras de suelo de las 15 plantas se tomaron a una profundidad de 10 a 30 cm de profundidad obteniendo aproximadamente 500 g por planta,

colocándolas inmediatamente en bolsas de polietileno, se llevó al laboratorio hasta su procesamiento.

### **3.4 Determinación y metodología**

#### **3.4.1 Evaluación de porcentaje de micorrización**

Se realizó el lavado de raíz cuidadosamente con agua corriente para quitarle el exceso de suelo. Se tomó una cantidad de 0,5 g, donde los segmentos de raíz se clarearon en KOH 10% (w / v), posteriormente fueron lavadas con agua corriente y se agregó ácido clorhídrico (HCl) al 10% por 10 minutos. Sin enjuagar las raíces se le añadió la solución de azul de tripano al 0,05% (Gai *et al.*, 2012). Con ayuda de un tamiz fueron enjuagadas con agua corriente para quitar exceso de colorante colocándolas en caja Petri, se agregó lactoglicerol. Las raíces fueron cortadas utilizando agujas de disección en segmentos aproximadamente de 1cm de largo con 10 segmentos paralelamente unos a otros se colocaron en portaobjetos con PVLG, colocando posteriormente el cubreobjetos. Cada laminilla se selló con esmalte transparente. Para realizar la evaluación de las estructuras morfológicas características de la micorriza arbuscular, se realizaron observaciones en el microscopio óptico con objetivo 20X O 40X. con estos objetivos se podrá observar segmento que contenían hifas, vesículas o arbusculos y esporas, independientemente de la intensidad de micorrización, se le otorgó el valor de uno para la evaluación total y estructuras(Phillips y Hayman, 1970).

### 3.4.2 Aislamiento de esporas e identificación de HMA

Las esporas de HMA se extrajeron de 100 g de suelo seco del área de cultivo en cada planta muestreada. Se utilizó el método de tamizado en húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguido por centrifugación en gradiente de sacarosa (Walker *et al.*, 1982). Las esporas sanas se colocaron en una placa de Petri para la observación directa bajo un microscopio estereoscópico. Donde se separaron en base a sus características morfo-anatómicas. Para identificación, cada tipo de esporas se montó en polivinílico-ácido láctico-glicerina (PVLG) (Koske y Tessier, 1983) mezcla de reactivo de Melzer (Brundrett *et al.*, 1999). La identificación se basó en los criterios taxonómicos aceptados actualmente para la estructura de tamaño, color, ornamentación superficial y la pared de la espora, siguiendo las claves de Schenck and Pérez (1990) y las que se encuentran disponibles en los sitios web. De hongos micorrizicos arbusculares (<https://invam.wvu.edu/>).

### 3.5 Se realizó el Análisis físico-químico de suelo orgánico en descanso.

Cuadro 2.-Análisis físico-químico de suelo orgánico en descanso.

Descripción de muestras	Suelo orgánico	Rango Óptimo
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
Textura	Mig. Arenoso	
Arena %	60.00	
Limo %	28.00	
Arcilla Total %	12.00	
Cap. Intercambio. Catiónico meq/100g	18.00	25.0 - 50.0

Capacidad de campo %	31.02	
Punto de marchitez permanente %	16.95	
Porcentaje de saturación %	53.00	< 50.0
Infiltración básica del agua cm/hr	2.98	>3.05
Densidad aparente	1.296	> 1.2
<b>PROPIEDADES QUIMICAS</b>		
pH (Disolución 1:1)	7.97 MA	6.5 - 7.5
Materia orgánica (M.O) %	1.42 P	> 3.0
Nitratos de nitrógeno (N-N03) p.p.m.	15.70 M	> 30.0
Fosforo disponible (P) p.p.m.	29.80 M	> 30.0
Carbonatos Totales (CaCO <sub>3</sub> ) %	14.95 M	< 15.0
Potasio (K) p.p.m.	211.0 A	> 170.0
Hierro (Fe) p.p.m.	2.02	2.5 - 4.5
Cobre (Cu) p.p.m.	0.44	0.88

**Continuación.**

Descripción de muestras	orgánico	
Manganeso ( Mn ) p.p.m.	2.96	
Ph	8.04 MA	6.5 - 7.5
Conductividad Eléctrica (mScm-1)	2.60 LS	2.0 - 8.0
Cationes Solubles: Calcio meq/Lto	16.58	
Magnesio meq/Lto.	1.05	
Sodio meq/Lto.	8.08	
Potasio meq/Lto.	0.91	
Suma de Cationes Solubles meq/Lto.	26.62	
Aniones Solubles: Carbonatos meq/Lto.	0.27	
Bicarbonatos meq/Lto.	5.79	
Cloruros meq/Lto.	10.12	
Sulfatos meq/Lto.	9.26	
Suma de Aniones	25.44	

Solubles meq/Lto,		
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	2.72	< 5.0
Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	2.68	< 10.0

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Cuadro 3.-Porcentaje de micorrización resultado de la evaluación de hongos micorrícicos asociados a maíz (*Zea mays* L) en cultivo orgánico.

Muestras	H	A	V	E
1	65.00	26.67	0.00	1.67
2	38.33	0.00	1.67	0.00
3	35.00	6.66	11.67	8.33
4	46.67	1.67	15.00	10.00
5	96.67	33.33	1.67	13.33
6	83.33	13.33	6.67	10.00
7	55.00	5.00	8.33	6.66
8	66.67	15.00	8.33	10.00
9	58.33	10.00	5.00	0.00
10	70.16	25.00	6.66	6.67
11	81.66	23.33	0.00	3.33
12	65.00	3.33	3.33	5.00
13	40.00	8.33	0.00	0.00
14	76.66	5.00	0.00	3.33
15	51.67	5.00	0.00	0.00

H= hifas, A= arbusculos, V= vesículas, E= esporas

En el cuadro 3 se presenta el porcentaje de micorrización en un rango de hifas muy elevado donde la muestra 5 presenta un 96.67%, muestra un 35% como mínima en la muestra 3.

Respecto a los arbusculos se encontrarón en menor cantidad, ya que el mayor porcentaje fue 33.33% en la muestra 5 y el menor en la muestra 2 con un

0%. El maíz (*Zea mays L*), es de producción anual, motivo por el cual es poca la presencia de vesículas en las raíces, encontrando un 15% en la muestra 4. Lo cual 0% menor en varias muestras analizadas.

Lo que se hizo presencia de esporas en la raíz con un 13.33% en las muestras 5 (figura 5) y con 0% como mínima en varias muestras siendo bajo comparando con lo de Tian (2013) en el estudio que determino con el maíz en monocultivo que mayor porcentaje va de 20-30% cabe mencionar que Pérez y Fuentes (2009) sugieren que a la escases de vesículas y esporas pueda deberse a que no todos lo HFMA sean vesículas, además la formación de estas estructuras dependen de las condiciones climáticas, físicas y químicas del suelo y las practicas agronómicas.

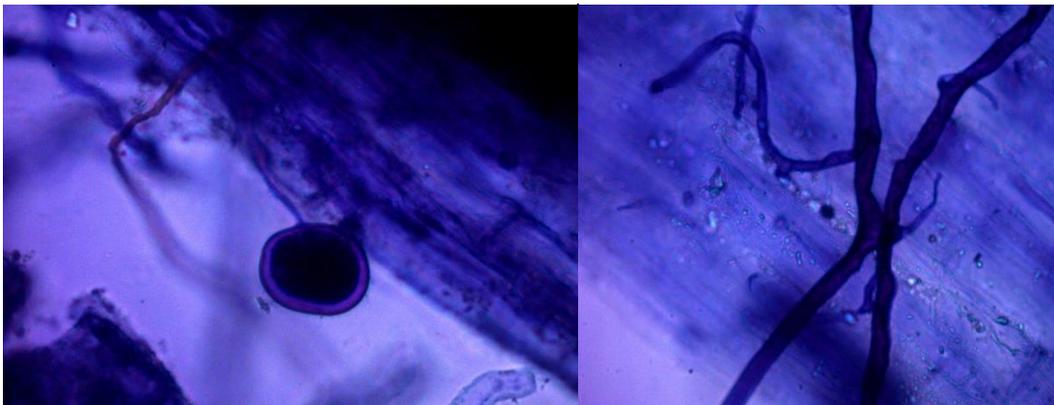


Figura 5.-Espora e hifa *Zea mays* identificadas en la evaluación de diversidad HMA asociadas en maíz en cultivo orgánico

Cuadro 4.-Géneros y especies de esporas de hongos micorrícicos arbusculares asociadas identificadas en suelo con cultivo orgánico de maíz.

<b>Familia</b>	<b>Genero y especie</b>	<b>Número de esporas en 100 g de suelo</b>
<i>Ambisporaceae</i>	<i>Ambispora</i>	302
<i>Diversisporaceae</i>	<i>Diversispora</i>	510
<i>Glomeraceae</i>	<i>Glomus</i>	31
	<i>Funeliformis mossaea</i>	450
	<i>Funneliformis</i>	196
	<i>Funneliformis geosporum</i>	244
	<i>Sclerocystis</i>	2

En el cuadro 5 se presenta los resultados del género y especies de las 15 muestras de suelo obtenidas del área de estudio con 9 Morfotipo diferentes como mayor de 510 de la especie *Diversispora* y por lo cual el más bajo con 2 en el género de *sclerocystis* encontrado en la zona de cultivo, cabe mencionar que un estudio de 7 años por Bazaldua (2011) menciona el género. Destaco en el suelo convencional y en el orgánico no se presentó ninguno de este género *sclerocystis*. Tubo mención del genero *Glomus* como un porcentaje alto. Flores (1988) hizo mención sobre sobre un elemento P lo cual inhibe la micorrización por lo cual podemos decir que es este factor la cantidad de esporas son reducidas, y en la agricultura orgánica contiene una mayor cantidad de este elemento lo cual disminuyo el género *Glomus* .significativamente el total fue de 1735 esporas de 15 muestras. Las familias presente fueron *Ambisporaceae*, *Diversisporaceae*, *Glomeraceae*.

Cuadro 5.-Morfotipo y total de esporas por muestra encontrado en la evaluación de HMA asociados en maíz (*Zea mays* L.) en cultivo orgánico.

Muestras	Morfotipos						Total	
	<i>Glomus</i>	<i>F. mossaea</i>	<i>Funneliformis</i>	<i>F. geosporum</i>	<i>Diversispora</i>	<i>Ambispora</i>		<i>Sclerocystis</i>
1	2	16	6	14	40	0	0	78
2	8	12	4	0	8	4	0	36
3	4	10	0	10	0	8	0	32
4	0	16	38	0	14	0	0	68
5	2	2	12	0	18	0	2	36
6	0	16	6	38	30	20	0	110
7	0	64	14	6	40	6	0	130
8	1	50	8	48	30	30	0	167
9	0	36	8	20	92	48	0	204
10	2	0	28	10	112	8	0	160
11	2	30	68	42	0	74	0	216
12	2	38	0	0	44	16	0	100
13	0	52	4	12	24	18	0	110
14	6	62	0	24	34	50	0	176
15	2	46	0	20	24	20	0	112

### PROMEDIO 115.66

Como se muestra en el cuadro 4 se muestra el total de esporas encontradas en las 15 muestras del suelo con un rango considerado presentando el total en la muestra 11 con 216 esporas según Collins (1991) menciona que entre 0 a 49 esporas no es bajo para condiciones nativas en un gramo de suelo estudios que comprobó. Posteriormente este estudio es alto en esporas. La mínima es de 32 en la muestra 3 esto abarca con un promedio de 115.66. Estudios realizados durante la época de 7 años vario su total de género en este caso solo se vio dos géneros iguales, por lo que Brundrett (1991). Dijo que el

número de morfotipo varía de 4 a 12 para cada condición específica; estos valores son similares a los reportados de estudio de investigación.

## V. CONCLUSIONES

Se encontraron una diversidad de 7 Morfoespecies de los evaluados en el estudio.

La familia mayormente representada fue *Glomeraceae* con 4 miembros.

El porcentaje de micorrización presente en las plantas *Zea mays* fue alta.

En las estructuras de hifas fue alto mostrándose poca presencia de arbusculos (micorrización funcional).

Se presentó escasa formación de vesículas.

## VI. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. 2002.** Fitopatología. Academic Press Inc. Mexico, D.F. pp838
- Aguilera N. 1989.** Tratado de Edafología de México, Tomo I, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aguirre-Medina JF. Cano-Garcia MA.** Uso de micorrizas como biofertilizantes en maíz AGROproduce, 2008: 2-36
- Agere R. (1991):** Characterization of ectomycorrhiza. In NORRIS J.R., READ D.J., VARMA A.K. (eds): Techniques for the study of mycorrhiza. Methods Microbiology 23: 25- 73.
- Altieri, M.A. 1987.** Agroecology. The Scientific Basis of Alternativa Agricultura. Westview Press. Boulder. Colorado.
- Altieri, M.A. 2002.** Agroecology: the science of natural resource malajemente for poor farmers in marginal environments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 93, 1– 24.
- Altieri M. 2008.** El papel estratégico de la SOCLA frente a los desafíos y oportunidades para una agricultura sustentable. Agroecología 3: 87-95.
- Amador. 2005.** Mercado nacional de productos orgánicos. Ambientito. Nº 145. 10-11 p
- Barney, J. (1991).** Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. Journal of Management, vol. 17, no. 1, pp. 99-120.
- Barea. J. M., and Jeffries, P. (2002).** Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. In “Mycorrhiza, structure, fuction, Molecular Biology and Biotechnology” pp 521-560. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bazaldua, T. V. (2011).** Evaluación de la diversidad de esporas micorrícicas arbusculares en el suelo de cultivo de maíz (*Zea mays L.*) orgánico y convencional. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Laguna Torreón, Coahuila.56-63p.
- Bellon, M. R.; Adato, M.; Becerril, J. and Mindek, D. 2005.** Impact of improved germplasm on poverty alleviation: the case of Tuxpeño-derived materials in México. CIMMYT. D. F., México. 58 p.
- Bethlenfalvay, G.J.; Linderman, R.G. 1992.** Preface. In Mycorrhizae in sustainable agriculture. Ed. by G.J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman. Madison, Wisconsin, USA. ASA Special Publication Number 54. p. 45-70.
- Bonfante – Fasolo, P,** editor. Anatomy and morphology of VA micorrhizae. In: VA Mycorrhiza. Powell, C. E & D. J. Bagyaraj (eds). CRC Press, Boca Raton. 1984.
- Bornemisza E., 1982.** Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los

Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.

**Bommer, D.F. R. 1991.** The historical development of international collaboration in plant genetic resources. *In: Searching for New Concepts for Collaborative Genetic Resources Management.* Van Hintun Th. J. L., L. Frese, and P. M. Perrin (eds). Papers of the EUCARPIA/IBPGR Symposium. International Board for Plant Genetic Resources. Roma, Italia. Pp: 3-12.

**Boege E. 2008.** El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México.

**Buckman Harry and N.C. Brady, 1966.** The Nature and Properties of Soils. The Macmillan company. 590 pp.

**Brundrett, M. 1991.** Micorrizas in natural ecosystems. *Adv Ecology Research* 21: 171-313.

**Collins, N., Pflieger, F., Crookston, R., Simmons, S. and Coipeland, P. 1991.** Vesicular-Arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytol* 117: 657-663.

**Doebley, J.F., and H.H. Iltis. 1980.** Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key taxa. *Amer.J.Bot.* 67 (6):982-993.

**Dobzhansky, T. 1982.** Genetics and the Origin of Species. Columbia University Press. Series: The Columbia Classics in Evolution. New York. 364 p.

**Dow Jones Sustainability Indexes (1999).** Informe Dow Jones Sustainability Indexes Extraído el 23 de Mayo 2012 de <http://www.sustainabilityindex.com>

**FAOSTAT (2012).** Agriculture Data. FAO, Rome, Italy. <http://faostat.fao.org>.

**Ferraris GN. 2008.** Inoculación con microorganismo con efecto promotor de crecimiento (PGPM) en trigo. Conocimientos actuales y experiencias realizadas en la región pampeana argentina .1-8.

**Ferguson BG, Morales H. 2010.** Latin American agroecologists build a powerful scientific and social movement. *Journal of Sustainable Agriculture* 34: 339-341.

**Flores B, M.R.** Caracterización de la micorriza vesiculos-arbuscular en limón. *Citrus aurantifolia swin.* En cinco. Agroecosistemas en estado de colima. Colima: universidad de colima.; 1988.

**Finlay R.D. 2008.** Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, 59:1115-1126.

**Galinat, W.C. 1977.** The origin of corn. *In: sprague, G. F. (ed) corn and corn improvement.* Agronomy 18. American society of agronomy, madison Wisconsin. Pp 1-47.

**Gámez Vázquez, A. J., M. A. Ávila P., H., H. Ramírez V., AQ. Alejo J. y A. Terrón I. (1996).** Híbridos y variedades de maíz liberadas por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de agricultura, ganadería y desarrollo rural-instituto nacional de investigación forestal, agrícola y pecuaria. México. Pp: 102.

**Gai, J. P., H. Tian, F. Y. Yang, P. Christie, X. L. Li y J. N. Klironomos 2012.** "Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient." *Pedobiologia* 55: 145-151.

**Gerdemann, J. W. y T. H. Nicolson 1963.** "Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting." *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244

**Gianinazzi S y Schüepp. 1994...** "Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser Verlag, Basel. 226 pp.

**Giannetti, M., L. Avio y C. Sbrana (2010).** Fungal Spore Germination and Pre-symbiotic Mycelial Growth – Physiological and Genetic Aspects. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. H. Koltai and Y. Kapulnik, Springer Netherlands: 3-32.

**Goodman M. M. (1999).** Broadening the genetic diversity in maize breeding by use of exotic germplasm. En: Coors, J. G. Y S. Spandley Ed. *The genetic and exploitation of heterosis in crops*. ASA-CSSA-SSSA. Madison. WI. Pp: 139-148.

**Gómez M. et al. (Coords). 2003.** Producción, comercialización y certificación de la agricultura orgánica en América Latina. CIESTAAM y AUNA-Cuba, Chapingo, México, 291p.

**Gómez Tovar, L. y M.A.Gómez cruz 2004.** La agricultura orgánica en México y en el mundo. CONABIO.

**Guadarrama-Chávez P., Sánchez-Gallén I., Álvarez-Sánchez J. y Ramos-Zapata J. 2004.** Hongos y plantas: beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias*, 73: 38-45.

**Gliessman, S. R.; Rosado-may, F; Guadarrama-zugasti, C.; Jedlicka, J.; Cohn, A.; mendez, V, E.; Cohen, R.; Trujillo, L, Bacon, C. y Jaffe. R.2007.** Agroecología: promoviendo una transición hacia la sustentabilidad. *Ecosistemas*. Vol.16 (1) pp. 13-28.

**Harrison, M., N. Pumplin, F. Breuillin, R. Noar y H.-J. Park (2010).** Phosphate Transporters in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Arbuscular\_Mycorrhizas: Physiology and Function. H. Koltai and Y. Kapulnik, Springer Netherlands: 117-135.

**Harrison, M. and Van Buuren, M. 1995.** A phosphate transporter from the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Nature* 378(7): 626-629.

**Hernández X., E.1972.** Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8: 46-51.

**Hernández-Xolocotzi E. (ed). 1977.** Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. México: Colegio de Postgraduados, Chapingo.

**Hecht, Susanna. 1998.** Evolución del pensamiento agroecológico. CLADES. Programa de Educación a distancia Centro de Investigación y Desarrollo. CIED. Lima 33, Perú. Pp 4-18.

**Hellin J, A Keleman, G Atlin (2010)** Smallholder Farmers and Maize in Mexico: A Value-Chain Approach to Improved Targeting of Crop-Breeding Programs. *J. New Seeds* 11:262-280.

**INEGI. 2014.** Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2014. 40 p.

**Johnson, N. C. 2010.** "Resource stoichiometry elucidates the structure and function of arbuscular mycorrhizas across scales." *New Phytol* 185: 631-47.357.

**Kato T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. 116 p.

**Koske, R. E. y B. Tessier 1983.** "A convenient, permanent slidemounting medium." *Mycol Soc Am Newslett* 34: 1-59.

**Khatounian, C.A. 2002.** A reconstrucao ecologica da agricultura Editora Agrecologica. Botucatu, SP. Brasil.

**Koont S. 2009.** The urban agriculture in Havana. *Monthly Review* 60 (1): 63-72.

**Louette,D.,and M.Smale.1996.** Genetic Diversity and Maize Seed Management in a Traditional Mexican Community: Implications for *In Situ* Conservation of Maize. NRG papers 96-03. México.D.F. CIMMYT. 21 p.

**Mauricio-Sánchez R A, J D Figueroa-Cárdenas, S Taba, M L Reyes-Vega, F Rincón-Sánchez, A Mendoza-Galván (2004)** Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.*27:213-222.

**Miller S L and Allen E B. 1992** Mycorrhizal Functioning. M F Allen Ed. Chapman & Hall. 301-332. 534 p.

**Morton, J. B. y Benny, G. L. (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*, vol. 37, pp. 471–491.

**Moguel P, Toledo VM. 1996.** El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43: 40-51.

**Moguel, P. y V. M. Toledo, 2004.** Conservar produciendo: Biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. CONABIO. Biodiversitas 55:1-7.

**Paliwal, R. L. 2001.** Introducción al Maíz y su importancia. En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A., D. y Marathée, J.P. (Eds.). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 1-3.

**Peña, C.P., Vanegas, G.I.C., Valderrama, A.M., Cardenas, J.H.A., Dorado, A.L.A., 2006.** Micorrizas arbusculares de la Amazonia Colombiana. Catalogo Ilustrado. Instituto Amazonico de Investigacion Cientificas "SINCHI".

**Peterson, R. L. y M. L. Farquhar (1994).** "Mycorrhizas Integrated development between roots and fungi", *Mycologia*, 86 (3), 311-326.

**Pérez A, Fuentes J (2009)** Regresión logística en la evaluación de la esporulación de micorrizas en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Esp. Rev. Colombiana cienc. Anim.* 1:1.

**Phillips, J. M. y D. S. Hayman 1970.** "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection." *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-IN18.

**Powlowka, T.E., Blaszkowski, J., Ruhling, A., 1997.** He mycorrhizal satus of plants colonizing a calamine spoil mound in southern poland. *Mycorrhizas* 6, 499-505.

**Porta-Casanellas, J., López-Acevedo M., Roquero De Laburu C., 2003.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, pp.929.

**Popoff O. 2008** Reino Fungi: micorrizas. Republica argentina.

**Plenchette, C., J. A. Fortin., y V. Furlan.1983.** "Growth response of several plants species to mycorrhizal in a soil of moderate P- fertility". *Plant Soil.* 70:199-209.

**Read, D.J. Mycorrhiza. 1999.** The state of the art. En: *Mycorrhiza* 2nd. (A. Varma y B. Hock, eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 3-34...

**Redecker, D., A. Schüßler, H. Stockinger, S. Stürmer, J. Morton y C. Walker. 2013.** Un consenso basado en la evidencia para la clasificación de hongos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). *Mycorrhiza* dio: 10.1007 / s00572-013-0486-y.

**Rumelt, R.P. (1984).** "Toward a Strategic Theory of the Firm, in Competitive Strategic Managemet" *Management R. Lamb De.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

**Roveda G, Polo C.** Mecanismo de adtacion de maíz asociados a *Glomuc* spp. En suelos con bajos fosforos disponibles. *Agronomía colombiana* 2007 249-356.

**Rzedowski, G.C de J. Rzedowski y J.Rzedowski.2001.** Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a. Ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad .Pátzcuaro, Michoacán.14066pp.

**Sanchez, Colín M.J, 2005,** “Micorrizas Aspectos Generales”, UNAM, México, pp. 13-27, 46-48.

**Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2005.** Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACÓN) 1980–2003. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

**Sierra, B.E.G., 2008.** Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha 21, 191-201.

**Silvia, E. B, 2009,** “El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura”, Facultad de ciencias agropecuarias, Vol. 7, Núm. 1, Colombia, 122-132 págs.

**Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2015).** Anuario Agropecuario 1980-2009. <http://www.siap.gob.mx/cierrede-la-produccion-agricola-por-cultivo/> Consulta: junio 24, 2015

**Schenck, N., Perez, Y. 1990.** Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 3 rd . ed. Gainesville, Florida: Synergistic Publications.

**Smith, S.E., Read, D.J., 1997.** Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London. UK.

**Sturmer, S. L. 2012.** "A history of the taxonomy and systematics of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota." *Mycorrhiza* 22: 247-58.

**Stürmer, S. L., R. Stürmer y D. Pasqualini 2013.** "Taxonomic diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota) in three maritime sand dunes in Santa Catarina state, south Brazil." *Fungal Ecology* 6: 27-36.

**Trappe J.M. 1994.** What is a mycorrhiza? Proceedings of the fourth European Symposium on mycorrhizae. Granada, España. En: Johnson N.C., Graham J.H. y Smith F.A. 1997. Functioning of mycorrhizal association along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist*, 135: 575-585.

**Tarbuck, E. y F. Lutgens. 1999.** Ciencias de la tierra: Una introducción a la Geología Física. 6ª. Ed. Prentice Hall Iberia S. R. L. Madrid. 572 p.

**Tian H, Drijberc R, Zhang J, LI X-L (2013).** Impact of long-term nitrogen fertilization and rotation with soybean on the diversity and phosphorus metabolism of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi within the roots of maize (*Zea mays* L.).*Agr, Ecos and Env.* 164:53– 61.

**Toledo-Manzur V M, N Barrera-Bassols (2008)** La Memoria Biocultural. La Importancia Ecológica de las Sabidurías Tradicionales. Icaria Editorial, S.A. Barcelona, España. 233 p.

**Toledo VM, Boege E, Barrera-Bassols N. 2010.** The biocultural heritage of México: an overview. *Langscape*.

**Turrent-Fernández A, T A Wise, E Garvey (2012)** Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.

**Van der Heijden M.G.A. 2002.** Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. *Ecological Studies*, 157: 243-265.

**Volke -Sepúlveda, T., Velasco-Trejo, J.A., de la Rosa Pérez, D.A., 2005.** Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Impreso en México. Pp 19-31.

**Vos, P; Hogers, R; Bleeker; M; Reinjans, M; Van de Lee, T; Hornes, M; Frijters, A; Pot, J; Peleman, J; Kuiper, M; Zabeau, M. 1995.** AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23:4407-4414.

**Walker C.** Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) a possible way forward. *Agronomie.* 1992; 12:887-97.

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

**Warwick H. 2001.** Cuba's organic revolution. *Forum for Applied Research and Public Policy.* PP. 54-58.

**Wen, W.; Franco, J.; Chávez, T. V. H; Yan, J. and Taba, S. 2012.** Genetic characterization of a core set of a tropical maize race Tuxpeño for further use in maize improvement. *PLoS ONE.* 7(3):e3262.

**Wellhausen E. J., L. Roberts, E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf. (1951).** Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficial de estudios especiales-secretaría de agricultura y ganadería. Folleto técnico núm. 55 México D.F.

**Wilkes, G.** Teosinte and the Other Wild Relatives of Maize. En: *Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of The Global Maize Germplasm Workshop.* México. D.F. CIMMYT, 1988. p. 70-80.

**Wilkes, H. G. y Goodman, M. M.** Mystery and Missing Links: The origin of Maize. En: *Maize Genetics Resources.* Taba, S (Eds.). Maize Program Special Report. México, D.F. CIMMYT, 1995.