

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ESPORAS MICORRÍICAS
ARBUSCULARES EN SUELOS DE CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*)
ORGÁNICO Y CONVENCIONAL.**

P O R

VERÓNICA BAZALDÚA TRUJILLO.

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

AGOSTO 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ESPORAS MICORRÍMICAS
ARBUSCULARES EN SUELOS DE CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)
ORGÁNICO Y CONVENCIONAL.

P O R

VERÓNICA BAZALDÚA TRUJILLO.

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN 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 :


M.C. EDUARDO BLANCO CONTRERAS.

Asesor :


M.C. FORTINO DOMÍNGUEZ PÉREZ.

Asesor:


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES.



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS, Coordinación de la División de
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

AGOSTO 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ESPORAS MICORRÍICAS
ARBUSCULARES EN SUELOS DE CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*)
ORGÁNICO Y CONVENCIONAL.

P O R

VERÓNICA BAZALDÚA TRUJILLO.

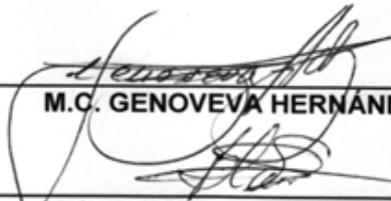
TESIS

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

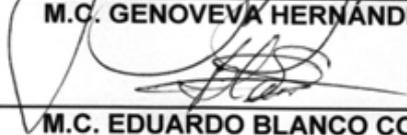
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor
principal:


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ ZAMUDIO.

Asesor :


M.C. EDUARDO BLANCO CONTRERAS.

Asesor :


M.C. FORTINO DOMÍNGUEZ PÉREZ.

Asesor:


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES.



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS, Coordinación de la División de
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

AGOSTO 2011

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente a Dios, por darme la vida y por acompañarme en todo momento. Tú qué haces que todas las cosas sean posibles. Tú que eres el camino el camino de la verdad, tú que no te fijas si es rico o si en pobre, tu simplemente nos amas Gracias por ser infinitamente bueno y misericordioso. Y Gracias por darme unos padres *maravillosos, que me han brindado el apoyo incondicional.*

A mis Padres.

Gracias a ustedes estoy cumpliendo una etapa más de mi vida, gracias a ustedes soy la mujer que soy, y gracias a sus enseñanzas seré una buena madre y una mejor persona cada día. Los amo por todo el esfuerzo que hacen por nosotros, por todo ese sacrificio para que no nos falte nada, Valen mil.

A mis Hermanos.

Ángel, Adriana, Beatriz, Jorge Luis y José Fausto Bazaldúa Trujillo por todo el cariño, a poyo que me brindaron gracias los quiero mucho.

A mis Abuelos.

Gracias por el gran apoyo que me dieron y por creer y confiar en mí, por los buenos consejos y por las regañadas me sirvieron de mucho. Gracias por consentirme y por mimarme siempre los quiero mucho.

A mis tíos y tías.

Gracias por el apoyo y por la confianza que pusieron en mí, por todos los consejos que me dieron eso y más muchas GRACIAS.

A mi Antonio Narro por todas las facilidades que me brindo, y por acogerme haciéndome sentir como en mi casa.

A mi asesora **M.C. Genoveva Hernández Zamudio**, por toda la confianza y paciencia hacia mí, para que el proyecto saliera adelante, es una gran persona la admiro mucho, mi más sincero respeto y cariño.

Al **M.C. Eduardo Blanco Contreras**, por el carisma, la confianza, el trabajo, su responsabilidad y entrega y esa buena vibra que emite, que hace positiva las ganas de seguir adelante, gracias nunca cambie.

Al **M.C. Fortino Domínguez Pérez**, por ser paciente y por su amistad durante la carrera de ingeniero en Agroecología, gracias.

Al **M.C. Gerardo Zapata Sifuentes**, por todo el apoyo brindado, la paciencia y por su amistad muchas gracias.

Al **Dr. Jesús Vázquez Arroyo**, no tengo palabras para agradecerle todo lo que hizo por mí, mil gracias Doctor.

A la **Bióloga María Mercedes**, por la paciencia y por todo el apoyo brindado para que el trabajo saliera adelante, mi más sincero respeto y mi cariño, mil gracias Bióloga.

A mis compañeros y amigos (**Lupita, Marquitos, Piña, Oscar, Polito, Samuel, Esaú y Martín**) por todo el cariño y apoyo que me brindaron, por todos los buenos y malos momentos que vivimos en nuestra estancia en nuestra "Alma Terra Mater" los quiero.

A mis amigas (**Mari Delia, Evangelina, Lilia, Aby, Elizabeth, Esmeralda**) por estar con migo en los momentos más difíciles, y en momentos de alegría las quiero mucho y siempre van estar en mi corazón. Gracias.

A mis compañeros y amigos (**Neri, Rey, José L., Jesús, Obed, Julio C.**) del Equipo de **TAE KWON DO**, por todos los buenos momentos que pasamos y por el apoyo y animo que nos brindábamos en los torneos, gracias por todo.

A mis compadres (**Prof. Oscar M. Ojeda y Sra. M. del Rosario**) y a su apreciable familia por su amistad, por confiar en mí, por mimarme y brindarme el cariño de unos padres, los quiero mucho son grandes personas.

Al departamento de parasitología por la utilización de su material y equipo de laboratorio. En especial a: **I.I.Q. Gabriela Muñoz Dávila y Q.I. Raúl Soto Estrada**, por el apoyo brindado en este proyecto, gracias.

Al departamento de **Agroecología** por sus instalaciones y por el tiempo que se estuvo trabajando.

A todos mis profesores que contribuyeron en mi formación como profesionista gracias y que Dios los bendiga.

DEDICATORIAS.

A mis padres.

FAUSTO BAZALDÚA RODRIGUEZ.

Y

ROSA ALMA TRUJILLO MORALES.

Ustedes fueron el pilar de mi formación como profesionista y ahora son mi prioridad, son lo más grande y valioso que tengo en la vida, son el complemento del cual estoy aquí, mi deber ahora es de ver por ustedes, me criaron de la manera más sencilla con valores y principios de los cuales me iban a servir en la vida. Ahora estoy cerrando un ciclo más, y todo gracias a ustedes, y gracias por brindarme todo el apoyo y la confianza, creo que nunca dudaron de que lo lograría y se los agradezco. Este triunfo no solo es mío es de ambos, todo el sacrificio que hicieron por mí se volverá recompensas.

Le doy gracias a dios por tener los papas mas malos del mundo, Mil gracias Padre y mil gracias Madre y les doy otro mil gracias por cuidar de mi hija, por eso con mucho cariño para ustedes este trabajo. LOS AMO.

A MIS HERMANOS.

Ángel, Adriana, Beatriz, Jorge Luis, José Fausto y a mi hermana Aurelia Bazaldúa Trujillo (†), que a pesar de las adversidades me dieron su apoyo y su cariño gracias hermanitos, los quiero mucho.

A MI HIJA.

LLUVIA MARISOL.

Hija tú eres mi motivo principal por el cual tengo que echarle ganas en vida, por qué eres el fruto de un amor sincero, eres carne de mi carne y sangre de mi sangre, tú desde ahora eres mi compañera en quien yo puedo apoyarme, tú me das las fuerzas para continuar hacia adelante. Gracias Dios por darme un motivo de vida, y por darme el mejor regalo que una mujer puede de ciar el de ser "Madre". Te amo hija y daría la vida por ti.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMIENTOS. | IV |
| DEDICATORIAS | VI |
| ÍNDICE DE CUADROS. | IX |
| RESUMEN. | 1 |
| PALABRAS CLAVE. | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| KEYWORDS. | 2 |
| I.- INTRODUCCIÓN. | 3 |
| 1.1 OBJETIVO | 4 |
| 1.2 HIPÓTESIS. | 4 |
| II.- REVISIÓN DE LITERATURA. | 5 |
| 2.1 Componentes del Suelo. | 5 |
| 2.2 Tipo de micorrizas. | 6 |
| 2.2.1 Tipos de micorrizas reconocidos tradicionalmente por criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos. | 7 |
| 2.2.2 Ectomicorrizas..... | 7 |
| 2.2.3 Endomicorrizas..... | 9 |
| 2.2.4 Clasificación taxonómica micorrizas arbuscular (MA)..... | 10 |
| 2.3 Desarrollo de la simbiosis de las micorrizas arbusculares (mecanismo de colonización). | 10 |
| 2.3.1 Primeros eventos de señalización..... | 10 |
| 2.3.2 Formación del apesorio. | 13 |
| 2.3.3 Penetración de la raíz. | 14 |
| 2.3.4 Crecimiento interno y desarrollo de arbusculos en micorrizas del tipo Arum..... | 16 |
| 2.3.5 El micelio externo..... | 17 |
| 2.4 Ecología de las Micorrizas Arbuscular (MA). | 18 |
| 2.5 Efecto en las plantas. | 19 |
| 2.5.1 Efectos contra patógenos de las plantas. | 20 |
| 2.5.2 Efecto de las micorrizas arbusculares (MA) en el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) | 21 |
| 2.6 Función de las Micorrizas Arbusculares (MA). | 22 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 2.7 | Influencia de las micorrizas arbusculares en la absorción de fósforo por la planta. | 23 |
| 2.8 | Aplicación de las Micorrizas Arbusculares (MA) en la agricultura..... | 25 |
| 2.9 | Aplicación de las MA en la Agricultura Orgánica. | 27 |
| 2.9.1 | Las MA como alternativa para una agricultura sustentable..... | 28 |
| III.- | MATERIALES Y METODOS..... | 30 |
| 3.1 | Ubicación del área de estudio..... | 30 |
| 3.2 | Descripción del experimento. | 30 |
| 3.2.1 | Manejo del cultivo maíz (<i>Zea mays L.</i>) en ambas parcelas. | 31 |
| 3.2.2 | Muestreo de suelo. | 32 |
| 3.2.3 | Colecta de Muestras de suelo. | 32 |
| 3.3 | Preparación de la muestra en laboratorio..... | 33 |
| 3.4 | Procesamiento de la muestra. | 33 |
| 3.4.1 | Extracción de esporas..... | 33 |
| 3.4.2 | Determinación de género de esporas..... | 34 |
| 3.5 | Diseño experimental..... | 35 |
| 3.6 | Análisis de datos. | 35 |
| IV.- | RESULTADO Y DISCUSIÓN | 36 |
| 4.1 | Descripción de los géneros y especies encontradas..... | 36 |
| 4.1.1 | <i>Glomus</i> | 36 |
| 4.1.1.1 | <i>Glomus fasciculatum</i> | 37 |
| 4.1.1.2 | <i>Glomus rubiformis</i> | 37 |
| 4.1.1.3 | <i>Glomus sinuosum</i> | 38 |
| 4.1.1.4 | <i>Glomus</i> sp8..... | 39 |
| 4.1.2 | <i>Gigaspora</i> | 40 |
| 4.1.3 | <i>Acaulospora</i> | 41 |
| 4.1.3.1 | <i>Acaulospora denticulata</i> | 41 |
| 4.1.3.2 | <i>Acaulospora rehmi</i> | 42 |
| 4.1.3.3 | <i>Acaulospora</i> sp4. | 43 |
| 4.1.4 | <i>Entrophospora</i> | 44 |
| 4.1.5 | <i>Sclerocystis</i> | 44 |
| 4.1.6 | <i>Scutellospora</i> | 46 |
| 4.1.6.1 | <i>Scutellospora</i> sp1. | 46 |
| 4.1.7 | <i>Archaeospora</i> | 47 |
| 4.2 | Micorrizas arbusculares en el suelo. | 48 |
| 4.2.1 | Identificación de esporas. | 48 |
| 4.2.2 | Identificación de géneros en las parcelas Convencional y Orgánica. | 49 |
| 4.2.3 | Distribución de los géneros de MA en el maíz orgánico y convencional en los nueve puntos..... | 54 |
| 4.2.3.1 | Género <i>Glomus</i> | 54 |
| 4.2.3.2 | Género <i>Acaulospora</i> | 55 |
| 4.2.3.3 | Género <i>Gigaspora</i> | 56 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.3.4 Género Entrophospora..... | 57 |
| 4.2.3.5 Género Scutellospora..... | 58 |
| 4.2.3.6 Género Archaeospora..... | 59 |
| 4.2.3.7 Género Sclerocystis..... | 60 |
| 4.3 Relación entre la Micorriza Arbuscular (MA) y las características físicas y químicas del suelo..... | 61 |
| V.- CONCLUSIONES..... | 64 |
| VI.- LITERATURA CITADA..... | 66 |
| ANEXOS..... | 70 |
| Anexos 1.- Preparación de la sacarosa al 45%..... | 70 |
| Anexo 2.- Formula de comparación de t_0 (t de tablas) para cada uno de los géneros. | 70 |
| Anexo 3.- Labores Culturales..... | 75 |
| A.3.1 Genotipo..... | 75 |
| A.3.2 Densidad de siembra..... | 75 |
| A.3.3 Control de plagas y enfermedades:..... | 75 |
| A.3.3.1 Artículo 5. Gestión de plagas, Enfermedades y malas hierbas. (Diario Oficial de la Unión Europea)..... | 75 |
| A.3.3.2 Artículo 12.- Normas de producción vegetal. (Reglamento (CE) nº 834/2007) | 76 |
| A.3.4 Tratamientos..... | 76 |
| A.3.5 Distribución de los tratamientos..... | 77 |

ÍNDICE DE CUADROS.

| | |
|--|----|
| Cuadro 1.- Clasificación de los géneros de MA propuesta por Salamanca y Silvia, 1998:..... | 10 |
| Cuadro 2.- Géneros encontrados en cada parcela..... | 49 |
| Cuadro 3.- Porcentaje de esporas de cada género en Maíz convencional y Orgánico..... | 50 |
| Cuadro 4.- Valores promedios de las características físico-químicas del suelo en los sistemas de producción de maíz orgánico y convencional..... | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Los tipos de micorrizas más ampliamente distribuidos1 | 8 |
| Figura 2.- Diagrama que indica la penetración de las MA a la raíz..... | 18 |
| Figura 3.- Esporas del género <i>Glomus</i> ; | 36 |
| Figura 4.- Espora de <i>Glomus fasciculatum</i> | 37 |
| Figura 5.- <i>Glomus rubiforme</i> , tomada al microscopio,..... | 38 |
| Figura 6.- <i>Glomus sinuosum</i> : A) la espora muestra: | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 7.- Género <i>Glomus sp8</i> | 40 |
| Figura 8.- Género de <i>Gigaspora</i> | 40 |
| Figura 9.- Género <i>Acaulospora denticulata</i> | 42 |
| Figura 10.- Género <i>Acaulospora rehmi</i> | 43 |
| Figura 11.- Género <i>Acaulospora sp4</i> | 43 |
| Figura 12.- Género <i>Entrophospora</i> | 44 |
| Figura 13.- Género <i>Sclerocystis</i> foto tomada | 45 |
| Figura 14.- Género <i>Sclerocystis spp</i> encontrado | 45 |
| Figura 15.- Género <i>Scutellospora sp1</i> | 47 |
| Figura 16.- Género <i>Archaeospora</i> | 47 |
| Figura 17.- Espora del género <i>Glomus</i> | 49 |
| Figura 18.- esporas del género | 49 |
| Figura 19.- Espora de <i>Acaulospora</i> | 49 |
| Figura 20.- Géneros encontrados | 52 |
| Figura 21.- Géneros de micorrizas arbuscular encontrados en el suelo del Maíz Convencional. Como ya mencionado por | 52 |
| Figura 22.- Número de esporas por cada género en los..... | 53 |
| Figura 23.- Distribución del género <i>Glomus</i> | 54 |
| Figura 24.- Género <i>Acaulospora en el maíz</i> | 55 |
| Figura 25.- Género <i>Gigaspora</i> en ambos sistemas que producción. | 56 |
| Figura 26.- Número encontrado de esporas en los diferentes puntos..... | 57 |
| Figura 27.- Esporas de <i>Scutellospora</i> encontradas | 58 |
| Figura 28.- Géneros <i>Archeospora</i> con cuatro | 59 |
| Figura 29.- Género de <i>Sclerocystis</i> | 60 |

RESUMEN.

El suelo es el sustento físico para las plantas y es donde se dan los procesos de degradación de la materia orgánica que a largo plazo determina la producción primaria. Para esto debe haber una gran diversidad de microorganismos del suelo y dentro de este grupo están los hongos y bacterias mutualistas (micorrizas y rhizobium), los cuales son importantes en la desintegración de la materia y facilitan a las plantas la absorción de nutrientes. Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre hongos del suelo y raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Evidencias recientes han demostrado que la diversidad de micorrizas arbusculares puede influir en la productividad de las comunidades vegetales. En este trabajo se busco determinar la biodiversidad de géneros de esporas de Micorrizas Arbusculares asociados a suelos de maíz (*Zea mays* L.) convencional y orgánico con la técnica de tamizado. Los resultados mostraron la presencia de los géneros: *Glomus*, *Entrophospora*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Scutellospora*, *Archeospora*, de los cuales el género más abundante fue ***Glomus***. Las esporas encontradas se describieron según el género y se lograron a identificar algunas especies de los géneros; *Glomus*, *G. fasciculatum*, *G. rubiformis*, *G. sinuosum*, y *Acaulospora*: *A. denticulata*, *A. rehmi*, *A. sp4*, respectivamente. Los análisis el suelo mostraron que el Fósforo, pH y Conductividad Eléctrica, valores altos en el sistema de producción orgánico lo que influye en la micorrización. Se menciona que la utilización de las micorrizas no implica que se deje de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la aplicación desde un 50-80% hasta un 100%. Estos biofertilizantes naturales son importantes para que se lleve una continuación ya que son una buena opción para la bioremediación y reforestación de los suelos contaminados entre otros beneficios.

PALABRAS CLAVE.

Diversidad, Géneros, Esporas, Micorrizas, Arbusculos, Maíz (*Zea mays* L.) Orgánico, Convencional.

ABSTRACT.

The soil is the physical support for plants and where there are degradation processes of organic matter in the long run determines the primary production. To this should be a great diversity of soil microorganisms and within this group are fungal and bacterial mutuality (mycorrhizae and rhizobia), which are important in the disintegration of matter and provide the plants to absorb nutrients. Mycorrhizae are mutualistic symbiotic association between soil fungi and roots of most land plants. Recent evidence has shown that the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi may influence the productivity of plant communities. This paper seeks to determine the biodiversity of genera of spores of arbuscular mycorrhizae associated with soils from maize (*Zea mays* L.) with conventional and organic screening technique. The results showed the presence of the genera: *Glomus*, *Entrophospora*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Scutellospora*, and *Archeospora*, of which the most abundant genus was *Glomus*. The spores found were described by gender and managed to identify some species of the genus, *Glomus*, *G. fasciculatum*, *G. rubiformis*, *G. sinuosum* and *Acaulospora* *A. denticulata*, *A. rehmi*, *A. sp4*, respectively. The soil analysis showed that phosphorus, pH and electrical conductivity, high values in the organic production system which influences the mycorrhization. It is mentioned that the use of mycorrhizae does not mean that you stop fertilizing, but fertilization is more efficient and may decrease the application from 50-80% to 100%. These natural bio-fertilizers are important to be carried as a sequel is a good option for bioremediation and reforestation of contaminated soils and other benefits.

KEYWORDS.

Diversity, Gender, Spores, Mycorrhizae, Arbuscules, Maize (*Zea mays* L.)
Organic, Conventional

I.- INTRODUCCIÓN.

Unos suelos sanos contribuyen a amortiguar el cambio climático, almacenan y purifican agua, son una fuente de antibióticos y previenen la erosión. Sin embargo, este hábitat se encuentra hoy más amenazado que nunca (1). El suelo está constituido por microorganismos benéficos que juegan un papel fundamental; entre ellos, destacan los hongos formadores de micorriza, los microorganismos fijadores de nitrógeno y las rizo bacterias promotoras de crecimiento vegetal (2-3).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. La planta asociada recibe los nutrientes minerales proporcionados por él o los hongos asociados mientras que estos reciben de la planta los compuestos de carbono derivado de la fotosíntesis (3).

Existen dos tipos de micorrizas ampliamente distribuidos que son las Ectomicorrizas y las Endomicorrizas. En este último grupo se encuentran las micorrizas arbusculares (MA) llamadas así, por que produce estructuras fungosas (arbúsculos) en las región cortical de las raíces. Los arbúsculos proveen la interface entre las células radicales y las del hongo y son los responsables del intercambio de nutrimentos ayudando al desarrollo de las plantas en suelos poco fértiles, aumentando la absorción del agua y de esa manera la resistencia a la sequía en cultivos de maíz (4). Es importante saber la diversidad y el porcentaje las micorrizas en el suelo para conducir a un uso

adecuado de dichos microorganismos como biofertilizantes, optimizando la producción en sistemas agrícolas y la recuperación de suelos degradados (5). Así, el presente trabajo propone los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVO

- Determinar la diversidad de esporas de micorrizas arbusculares en suelos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) orgánico y convencional.
- Identificar la diferencia de géneros de micorrizas arbusculares presentes en suelos de maíz orgánico y convencional.

1.2 HIPÓTESIS.

1. En el suelo de cultivo de maíz (*Zea mays* L.) orgánico existe una mayor diversidad de esporas de micorrizas arbusculares, que en el convencional.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA.

Los suelos albergan una extraordinaria variedad de formas de vida que ayudan a mantenerlos sanos y fértiles. Los suelos sanos contribuyen a amortiguar el cambio climático, almacenan y purifican agua, son una fuente de antibióticos y previenen la erosión. Sin embargo, este hábitat se encuentra hoy más amenazado que nunca (1). En la actualidad la mayor amenaza del suelo es la explotación agrícola, con diferentes niveles de deterioro los cuales dependen de la intensidad, frecuencia y duración de las aplicaciones agroquímicas y otras tecnologías intensivas (6).

2.1 Componentes del Suelo.

El suelo es un elemento fundamental y determinante para los ecosistemas terrestres, es el sustento físico para las plantas y el sitio donde se dan los procesos de degradación de la materia orgánica, que a largo plazo determina la producción primaria (7). La diversidad de grupos y de especies de organismos en el suelo es enorme, la biota edáfica se puede dividir, en tres grupos. El primer grupo es la microflora y micro fauna desintegradora, que se compone de los organismos que movilizan, fijan y transforman la materia orgánica. En segundo lugar están los denominados ingenieros edáficos (Lombrices de tierra o los gusanos oligoquetos), organismos responsables de los cambios en la estructura del suelo (7). Por últimos los organismos que viven parcial o completamente asociados a las raíces (rizobiota). Estos organismos consumen directamente parte de los compuestos carbonados producidos por las plantas, absorben azúcar del hospedero y otros compuestos tales como vitamina B y

aminoácidos aumentando el crecimiento de éstas. En este grupo están los hongos y bacterias mutualistas (micorrizas y rhizobium) y los herbívoros radiculares (nematodos fitoparásitos) (7).

Dentro de este último grupo los microorganismos más importantes son las micorrizas, que significa literalmente "hongo-raíz" precisión hecha por el botánico Alemán Frank en 1885 (8).

Inicialmente estas asociaciones entre hongos del suelo y las raíces de los árboles fueron las únicas que se reconocían como micorrizas, pero trabajos posteriores mostraron que existía una gran diversidad de asociaciones de este tipo, no solo en plantas leñosas, sino en la mayoría de los vegetales (4).

Su coevolución con las plantas ha permitido que se colonicen alrededor de 80 % de las especies vegetales (9-13)

2.2 Tipo de micorrizas.

Los hongos micorrícicos desarrollan estructuras específicas que intervienen principalmente en el intercambio de nutrientes. La planta provee al simbionte fúngico el carbono que proviene de la fotosíntesis mientras que las micorrizas pueden facilitar la provisión de nutrientes para la planta. De acuerdo a los simbiontes fúngicos involucrados en la asociación se reconocen varios tipos de micorrizas, Figura 1 , de estos tipos solo dos están ampliamente distribuidos: Las Endomicorrizas y las Ectomicorrizas (9).

2.2.1 Tipos de micorrizas reconocidos tradicionalmente por criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos.

- Ectomicorrizas, donde se puede apreciar la formación de un manto, junto con la penetración de hifas a las células.
- Las micorrizas Orchidaceae (Endomicorrizas), llamadas de ovillo, y tal vez representan el tercer tipo más importante de micorrizas, ya que estas plantas son dependientes en estado juvenil, de protocormo, de sus hongos simbioses. Una vez que la planta crece y fotosintetiza, generalmente se independiza del hongo.
- Ericoides o ericales, son las más sencillas, con raíces muy simples e hifas penetrando en las células para formar ovillos.
- Micorrizas Arbusculares (MA), diferenciadas por la forma de penetración de las hifas a las células radicales.
- Arbutoides (Ectoendomicorrizas), donde también tenemos un manto externo junto con hifas que penetran a las células para formar rulos (14).

2.2.2 Ectomicorrizas.

Se caracteriza por una modificación morfológica de la raíz que pierde sus pelos absorbentes y generalmente los extremos se ramifican profusamente y se acortan ensanchándose. El extremo de una raíz ectomicorrizada típicamente está cubierto por un manto de hifas, como una vaina, que puede ser desde una capa floja hasta pseudo-parenquimática. Desde este manto, se extiende una red de hifas entre las primeras capas de células de la corteza radical y rara vez llegan hasta la endodermis, pero sin entrar en el interior de las células, de aquí el nombre de Ectomicorrizas(15).

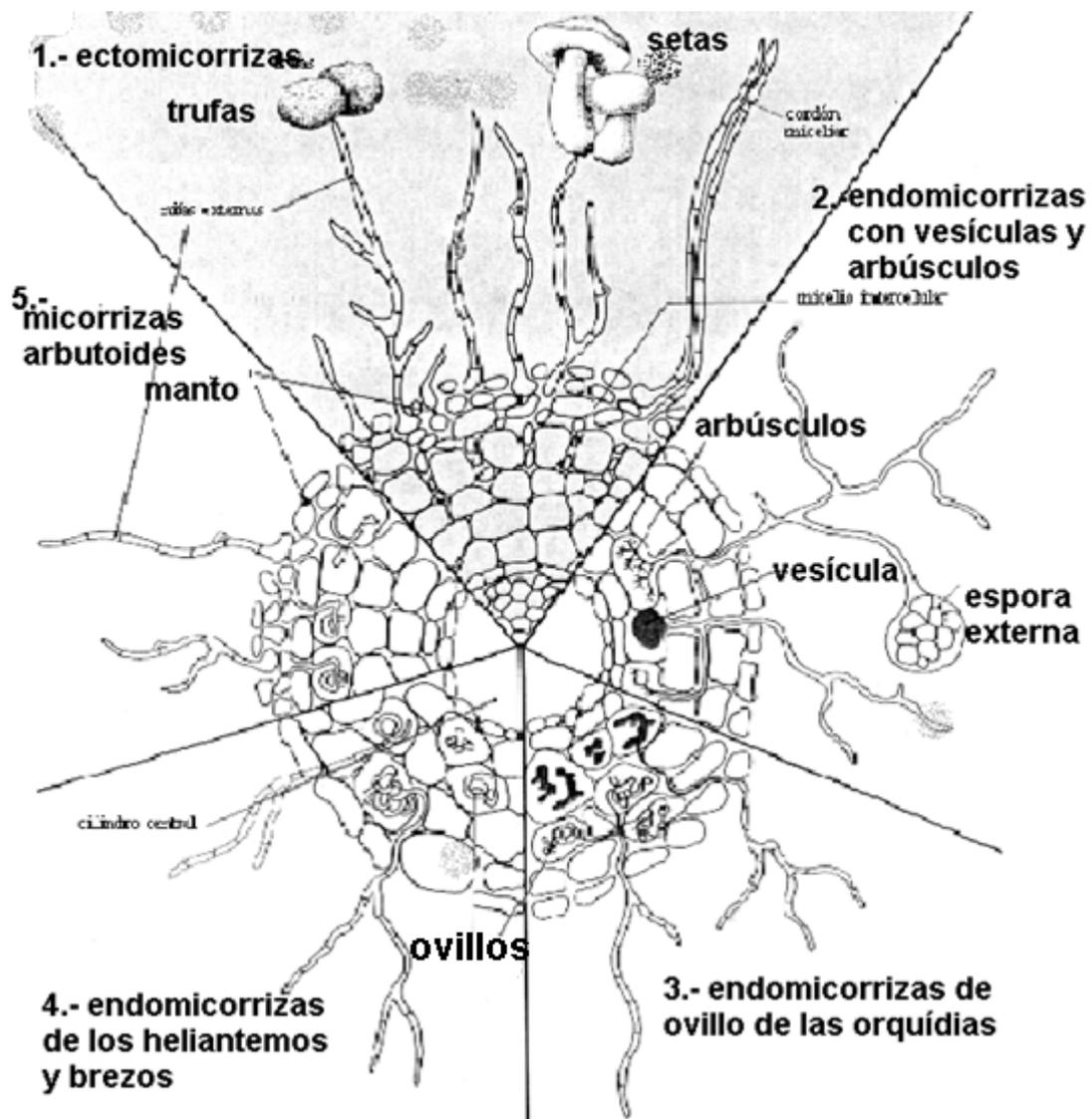


Figura 1.- Los tipos de micorrizas más ampliamente distribuidos 1) Ectomicorrizas (formadores de manto), 2) Endomicorrizas (formadoras de vesículas y arbusculos), 3) Endomicorrizas de orquídeas, 4) que forma Endomicorrizas también ovillos e igual que el de las orquídeas, y 5) micorrizas Arbutoides formadoras de manto (Ectoendomicorrizas)

Las ectomicorrizas, se relacionan principalmente con la adquisición de nitrógeno a partir de residuos orgánicos y colonizan sólo alrededor del 3 % de las especies de plantas (9).

2.2.3 Endomicorrizas.

Es el tipo más extenso de micorrizas que provoca pocos cambios en la estructura de la raíz. Generalmente no se observa un crecimiento denso de hifas en la superficie de la raíz, no hay un manto. Sin embargo hay una red miceliar interna. El micelio penetra la raíz, donde inicialmente es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales, desde la rizo dermis hasta las células corticales. Una vez dentro de las células, forma minúsculas arborescencias muy ramificadas que se llaman arbusculos, también se encuentran comúnmente vesículas, que son los órganos de reserva del hongo. Por esta producción de vesículas y arbusculos se les llama micorrizas vesículo arbusculares (VA) (15). Las esporas de estos hongos 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 arbusculo, 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 (16). La formación de estas estructuras, depende de la identidad del hongo: Gigaspora y Scutellospora no forman vesículas y producen en su lugar, células auxiliares sobre el micelio externo o raramente dentro de la raíz (17).

Debido a que todos los hongos que presentan este tipo de asociación forman arbusculos pero no vesículas, se ha modificado el nombre de micorriza

vesículo-arbuscular (VA) (asignado anteriormente) por el de micorriza arbuscular (MA) (17).

2.2.4 Clasificación taxonómica micorrizas arbuscular (MA).

Cuadro 1.- Clasificación de los géneros de MA propuesta por Salamanca y Silvia, 1998:

| | |
|------------|----------------------------|
| División: | Eumycota |
| Grupo: | Zygomycotina (ficomicetos) |
| Clase: | Zygomycetes |
| Orden: | Glomales |
| Sub orden: | Glomineae |
| Familia: | Acualosporaceae |
| Género: | <i>Acaulospora</i> |
| | <i>Entrophospora</i> |
| Familia: | Glomaceae |
| Género: | <i>Glomus</i> |
| | <i>Sclerocystis</i> |
| Sub orden: | Gigasporieae |
| Familia: | Gigasporaceae |
| Género: | <i>Gigaspora</i> |
| | <i>Scutellospora</i> |

2.3 Desarrollo de la simbiosis de las micorrizas arbusculares (mecanismo de colonización).

2.3.1 Primeros eventos de señalización.

Para ambos simbiontes, el periodo antes del contacto físico es la formación de los apresorios, el cual es una estructura de fijación que se forma en las hifas unicelulares laterales cortas y especializadas, que se caracterizan porque se adhieren a la cutícula de la raíz de la planta hospedante cuya función es el

mecanismo de sujeción y precede a la perforación de la cutícula para la infección, aplica el reconocimiento y la atracción de socios adecuados y otros eventos para promover una alianza (18).

Las MA pueden influir en la comunidad microbiana del suelo a través de diferentes mecanismos, los relacionados con la señalización de la planta o con las defensas mediante las vías bioquímicas y la modificación de la naturaleza, cantidad, y la distribución de carbono derivados de los compuestos en el suelo (19).

La germinación de las esporas de las MA y el crecimiento inicial de las hifas puede ocurrir en ausencia de la raíz de la planta, sin embargo, tanto los exudados de las raíces, los compuestos volátiles, como el CO₂ puede estimular al mismo tiempo estos procesos (20).

Con los exudados de la raíz se obtiene una rápida y extensa ramificación de las hifas al entrar en los alrededores de la raíz (hospedera), una respuesta que se ha observado como el enfoque de las hifas a las raíces de las plantas huésped (hongo), pero no cuando las raíces son de plantas no-hospederas, lo que indica que el reconocimiento del huésped es muy específico. En este caso, la falta de reconocimiento de los no-huéspedes podría ser debido que no se produce una señal, sin embargo, en otros casos, la falta de la respuesta es debido probablemente a la síntesis de compuestos inhibidores por parte de la planta (20).

La gama de todos los componentes activos presentes en los exudados de la raíz es desconocida. Sin embargo, algunas de las actividades son probablemente debidas a los compuestos de flavonoides y fenólicos que

estimulan el crecimiento de algunas especies de MA. Las moléculas especiales responsables de provocar la ramificación de hifas se desconocen. Los compuestos flavonoides son activos en concentraciones muy bajas, se supone que no tienen un efecto nutricional, pero actúan como señales para estimular o inhibir el crecimiento de los hongos. Los flavonoides e isoflavonoides de las plantas se unen a los receptores de estrógeno, y recientes experimentos que utilizan estrógenos y anti-estrógenos proporcionan evidencia preliminar de la presencia de un receptor de las MA capaces de alcanzar un tipo de flavonoides (biochanin A) y estrógenos. Sobre la base de las estructuras de estas moléculas, se indica que los anillos A y C de los isoflavonoides y el grupo hidroxilos en la posición A-7 son características importantes para el reconocimiento por parte del receptor (20).

Los eventos de señalización entre la raíz huésped y las MA antes y después de la colonización aún no son plenamente comprendidos, sin embargo, distintas etapas morfológicas de desarrollo de los hongos MA han sido definidos, y pueden ser clasificados como "huésped-dependiente" y "huésped-independiente" (21).

La fase simbiótica de los hongos se limita a la germinación de las esporas y a la producción de una cantidad limitada de micelios, que se produce en ausencia de la planta huésped. Las señalizaciones resultan necesarias para inducir cambios morfológicos en el hongo y para activar el crecimiento (22).

2.3.2 Formación del apresorio.

El desarrollo de la simbiosis se inicia cuando la hifa de un hongo tiene contacto con la raíz de una planta huésped, donde se diferencia para formar un apresorio. Aunque los componentes de los exudados de la raíz son capaces de estimular el crecimiento y la ramificación de hifas, estos no son capaces de provocar la formación de apresorios, que inicialmente se observa solamente en las raíces intactas (20).

El desarrollo del apresorio se puede considerar como un resultado exitoso de los eventos de reconocimiento pre simbiótico cuando hongo y plantas se asocian para una interacción comprometida. Aparte de características físicas también se requieren características químicas para la formación de estos apresorios, la penetración necesita el apoyo de células intactas (18).

Se dice que el calcio (Ca) es muy importante en la formación de dichos apresorios, ya que en la actualidad se han encontrado varios genes homólogos relacionados con dicha formación (22).

Se ha demostrado que *Gigaspora margarita* podría formar apresorios in vitro en paredes purificadas de las células epidérmicas aisladas de las raíces de zanahoria, una hospedera de *Gigaspora margarita*, pero no en las paredes aisladas de betabel, especie no hospedera (20).

El hongo también reconoció específicamente las paredes de las células epidérmicas y no forma apresorios en las paredes de células corticales o vasculares. Estos experimentos indicaron que la señal para la formación de apresorio se encuentra dentro de la pared celular de la epidermis. Los experimentos también confirmaron que la señal de la ramificación está ligada

débilmente a la pared o a exudados de las raíces, donde los fragmentos de las paredes purificadas no han provocado la extensa ramificación de hifas observadas en las raíces intactas. Estas paredes purificadas consisten en una mezcla de polisacáridos, como celulosas y poligalacturonasa y algunas proteínas. Las moléculas de carbohidratos actúan como señales en un número de interacciones de hongos con otras plantas y son los posibles candidatos para la inducción de apresorios en la simbiosis MA (20).

2.3.3 Penetración de la raíz.

La formación del apresorio es seguido por el desarrollo de la penetración de una hifa a la raíz. Esto puede ocurrir de diferentes formas, en algunas especies, las hifas entran forzando su camino entre dos células epidérmicas, mientras que en otros casos, la hifa penetra en una epidermis o en la pared celular del pelo de la raíz y crece a través de la célula (20).

Los mecanismos exactos involucrados en la penetración se desconocen, sin embargo, por analogía biotróficos a un número de patógenos, se ha sugerido que son específicos, la producción localizada en la pared celular de las enzimas de degradación, en combinación con la fuerza mecánica, puede facilitar la entrada de las hifas sin inducir la respuestas de defensa (20).

Las MA producen exo y endoglucanasas, celulosas, xiloglucanos, y enzimas pectolíticas incluyendo poligalacturonasa, todo lo que aceleraría su paso a través de la pared celular. Cuando los apresorios se desarrollan en los fragmentos de la pared de las células epidérmicas purificadas no forman una penetración viable de la hifa y no penetran en la pared, los procesos

posteriores a la formación de apresorios probablemente requerirá una célula intacta. Así, una amplia gama de plantas mutantes sobre las cuales las MA pueden formar apresorios, no pueden desarrollarse más allá, y son la prueba directa que la planta controla este paso en el desarrollo de la asociación (20).

En los mutantes de *Pisum sativum*, *Medicago sativa*, *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris*, *Medicago truncatula*, *Lotus japonicus*, y *Lycopersicon esculentum*. Los fenotipos de sus asociaciones son bastante similares a nivel morfológico y se dividen generalmente en dos grupos definidos. En la asociación con *P. sativum*, *L. esculentum*, y mutantes de *Medicago*, los hongos forman apresorios que con frecuencia son grandes y deformados y que se convierten en septados cuando los hongos no entran en la raíz. Los mutantes del *P. vulgaris* y *L. japonicus* muestran un fenotipo ligeramente diferente de las otras especies y la formación del apresorio es seguido por la penetración de la primera capa de la célula. La asociación entonces aborta en la epidermis de la raíz en donde las hifas inflamadas y deformes son visibles dentro de estas células (20).

En los mutantes de *Lotus*, las hifas de vez en cuando logran superar el bloqueo en la epidermis y el crecimiento de las hifas deformes continúa, la producción normal de las estructuras internas de las micorrizas. Desde que estos son indistinguibles de tipo silvestre, se ha sugerido que los genes mutados no son necesarios para las fases posteriores de crecimiento. Todos los mutantes de las micorrizas de las fabáceas también se ven afectados en su capacidad de formar una simbiosis de fijación de nitrógeno con especies de *Rhizobium* y así definir un conjunto de genes, denominados genes sym, esencial para ambas simbiosis (20).

Las similitudes entre estas simbiosis apenas comienzan a surgir, y algunas de las vías de señalización y los acontecimientos que posteriormente ocurren durante la formación de la simbiosis sin duda se conservan. Un mutante no penetrante identificado en *L. esculentum* es el primero de este tipo en ser identificado en las especies de las fabáceas. Este mutante muestra un fenotipo similar al de los mutantes de las leguminosas, aunque las respuestas son ligeramente diferentes dependiendo de la simbiosis de hongos involucrados. *Glomus mosseae* fue incapaz de penetrar en las raíces mutantes de *L. esculentum*, mientras que *G. margarita* fue ocasionalmente capaz de entrar. En contraste con los mutantes de *L. japonicus*, esta mutación parece afectar a las etapas del desarrollo interno de la micorriza, y después de la entrada, *G. margarita* no se desarrolla ampliamente dentro de las raíces y fue incapaz de formar arbusculos. El futuro de la clonación de los genes mutados, lo cual debería ser factible para *L. esculentum* y también para las leguminosas, *L. japonicus* y *M. truncatula*, debido a su pequeño genoma, contribuirá a comprender los mecanismos de control (20).

2.3.4 Crecimiento interno y desarrollo de arbusculos en micorrizas del tipo Arum.

El desarrollo del hongo comienza con la germinación de las hifas desde las esporas. En ausencia de una planta hospedera, las MA muestran únicamente el crecimiento limitado de hifas mientras que en la presencia de la raíz, la ramificación de hifas aumenta vigorosamente (23).

Esta reacción de los hongos pre simbióticos se caracteriza por la activación de genes específicos seguida por los subsiguientes cambios fisiológicos y morfológicos (23).

Respuestas positivas del crecimiento y mejora de la nutrición de fosfatos se ha mostrado en muchas especies de plantas que forman micorrizas arbusculares del tipo Arum, (es el tipo de arbusculo que forman en la raíz) y esto ha sido confirmado con las mediciones de la absorción de fosfato radiactivo (^{32}P o ^{33}P) a través del micelio externo (24).

Hay dos tipos morfológicos principales de simbiosis de micorrizas vesículo arbuscular con base en las estructuras de diferentes interfaces. Las MA tipo Arum Figura 2 se caracterizan por los arbusculos intracelulares muy ramificados, sostenidas por las hifas intercelulares, mientras que las micorrizas arbusculares tipo París, se caracterizan por los hongos que crecen directamente de célula a célula (25).

2.3.5 El micelio externo.

En la siguiente etapa de colonización de la corteza de la raíz, las hifas fúngicas se desarrollan ampliamente en el fondo del suelo. Este micelio externo juega un papel fundamental en la simbiosis de MA, sus funciones incluyen la adquisición de nutrientes minerales del suelo y su posterior traslocación para la planta, la colonización de las raíces adicionales y, en muchos casos, la producción de esporas. Además de su papel en la simbiosis, el micelio extra-radical contribuye a la estabilidad del suelo por la agregación de partículas, probablemente mediada en parte por las glicoproteínas producidas por las hifas. Los estudios de esta fase de la simbiosis tienen rezagos sobre la fase

interna, debido principalmente a dificultades con la observación, colección, y cuantificación del micelio (20).

Los primeros estudios sobre el micelio externo indicaron que está compuesto de diferentes tipos de hifas, incluyendo hifas grandes e hifas de absorción fina. Estos resultados han sido confirmados, y un examen ultra estructural de las hifas de absorción fina ha puesto de manifiesto características consistentes con el papel en la absorción de nutrientes. Las mediciones del pH de las hifas tanto interna como externa de los medios que rodean las hifas son posibles de llevar a cabo, por lo tanto, el estado fisiológico de las hifas se pueden monitorear (20).

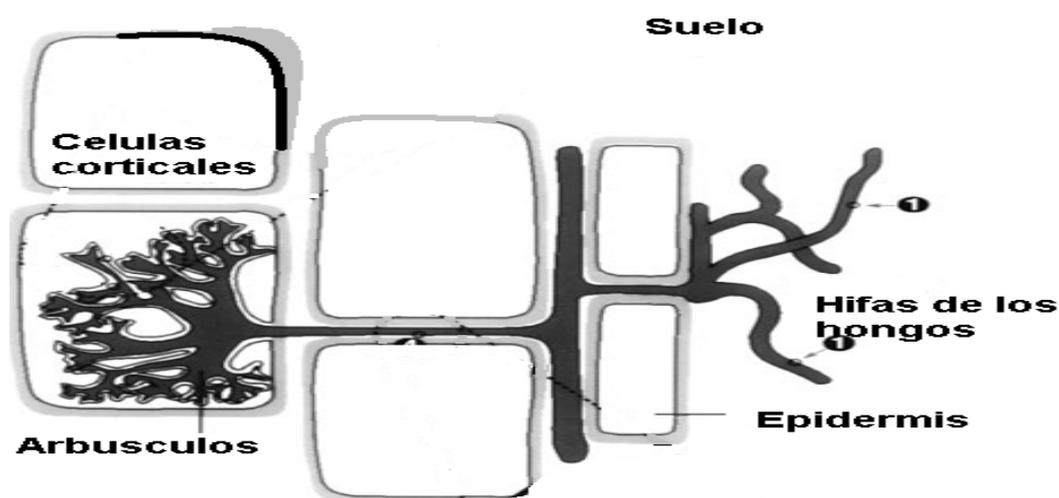


Figura 2.- Diagrama que indica la penetración de las MA a la raíz formando arbusculos tipo Arum (hifas intercelulares y arbusculos).

2.4 Ecología de las Micorrizas Arbuscular (MA).

Estas micorrizas se encuentran en la mayoría de los suelos (26). Los hongos MA son un importante grupo de microorganismos nativos del suelo que contribuyen sustancialmente al establecimiento, productividad y longevidad de

los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas. Las interacciones que ocurren en el suelo son responsables del comportamiento de las MA, expresadas en las observaciones, del crecimiento diferenciado de plantas inoculadas de invernadero en comparación con las inoculadas en campo (27)

En algunos estudios realizados en México, particularmente en el altiplano potosino-zacatecano, se ha denotado que la variación de la capacidad de esporulación de los hongos, no solo dependen del hospedante de micorrizas arbuscular que se encuentran asociados sino que también, esta es modificada por las lluvias o la sequía (5).

Las plantas colonizadas por MA tienen mayor recurso para afrontar condiciones de sequía debido a que adquieren modificaciones nutricionales, fisiológicas, bioquímicas y morfológicas. A pesar de que los mecanismos involucrados en la orquestación, micorrizica para la tolerancia a la sequía son muy complejos. La mayoría de los efectos pueden estar relacionados con el mejoramiento del estatus nutricional, especialmente de fósforo (P) y de nitrógeno (N). Por otra parte, al tratarse de una asociación obligada entre hongo y planta, la ecología de la micorriza está condicionada en gran parte a la planta (28).

2.5 Efecto en las plantas.

Las MA proporcionan una superficie de absorción incrementada y más eficaz. Se acepta que el papel clave de las hifas del hongo es que extiende el campo de absorción de la raíz más allá de la zona normal de agotamiento radical. Permitiendo a la raíz incrementar su superficie de absorción de un volumen de

suelo mayor del que hacen las raíces no micorrizadas, hasta 7cm de la superficie radicular (29).

A su vez, las MA son heterótrofos y dependen totalmente de las plantas que colonizan para obtener los compuestos orgánicos necesarios para su crecimiento (30).

Además promueven la estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incrementando la tasa fotosintética, aumento de la fijación de N por bacterias simbióticas o asociativas, e interacciones con la microflora y micro fauna que ocurre en el suelo (31).

2.5.1 Efectos contra patógenos de las plantas.

Las MA pueden desarrollar una función protectora contra enfermedades causadas por hongos patógenos (32)

La mayoría de la información publicada acerca del efecto protector de las asociaciones micorrizicas está limitada a la acción de varios mecanismos que probablemente interactúan entre ellos, como el incremento del vigor de la planta, la compensación de daños, la competencia directa con los microorganismos patógenos por el mismo espacio en la raíz o la protección del cambium en el sistema radical (33).

Así, con las MA se ha observado una competencia por el mismo espacio de la raíz, con los nematodos fitoparásitos que colonizan los mismos tejidos que las MA, pero se desarrollan en distintas células corticales y también se ha visto que algunos patógenos como *Phytophthora* no penetran en las células que contienen arbusculos (33).

Actualmente hay experiencias exitosas a nivel de campo empleando formulaciones comerciales de hongos benéficos (*Glomus intraradices* y *Trichoderma harzianum*) antagonistas de *Fusarium oxysporum* que ataca tomate, ya que libera sustancias tóxicas (antibióticas) o son eficientes competidores por los exudados radiculares, sustrato usado por las MA antes de que estos penetren en la raíz y lleguen a ser biotróficos (31).

2.5.2 Efecto de las micorrizas arbusculares (MA) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Las plantas presentan cambios en su crecimiento y morfología que se relacionan con las condiciones de estrés; plantas asociadas con microorganismos del suelo (MA), han desarrollado estrategias de adaptación, las cuales han sido el resultado de complejos procesos evolutivos (34).

Resultados de experimentos muestran que la planta de maíz micorrizada, acumula azúcares (carbohidratos) al ser sometidas a temperaturas bajas, sequía y niveles bajos de radiación, esta condición mejora la capacidad para soportar estrés (34).

En cultivos de cobertura se ha visto que aumentan el grado de micorrización, lo mismo que con la siembra de maíz y sorgo, que tiene alta dependencia micorrizica e incremento de su población (35).

La respuesta de la planta a la inoculación con MA depende del nivel de fertilidad del suelo, de la planta hospedera y del hongo. Plantas micótroficas obligadas pueden presentar una respuesta alta (Yuca) o leve; plantas micótroficas facultativas podría presentar una respuesta a la micorrización alta (maíz) o baja (sorgo) (31).

En el estado de Oaxaca, el INIFAP en el 2002 realizó acciones de validación e investigación en biofertilizantes en las regiones de los Valles Centrales, Mixtzaachila y Tuxtepec. En el caso de los valles centrales, en la comunidad de Zaachila se establecieron dos hectáreas con 10 lotes en “parcelas apareadas” con maíz criollo y la variedad V-233. Los resultados indicaron un incremento del 11% en el rendimiento del grano con la aplicación de la MA en comparación con el testigo(36).

2.6 Función de las Micorrizas Arbusculares (MA).

Los beneficios de estas son bien conocidos, especialmente en la nutrición mineral de las plantas y en la protección contra agentes patógenos del suelo, entre otros. El 80% de las plantas son capaces de formar micorrizas, además, evidencias recientes han demostrado que la diversidad de las MA pueden influir en la productividad y biodiversidad de las comunidades vegetales, así como en las relaciones competitivas y funcionamiento general de los ecosistemas naturales (11). Las MA pueden ser utilizadas para acelerar la tasa de sucesiones o de recuperación de un ecosistema degradado (37).

El manejo agrícola conlleva a varios problemas ambientales entre los que destaca la excesiva aplicación de fertilizantes que terminan contaminando los cuerpos de agua y causando su eutroficación. La adición de fertilizantes sin el análisis previo de las condiciones del suelo, además, pueden conducir a un desbalance iónico de los mismos, con los consiguientes problemas para las plantas que viven en dicho suelo (38).

En las últimas décadas se han intentado cambiar en el ámbito global los paradigmas de la producción agrícola que implica el uso intensivo de energía,

maquinaria y sustancias químicas (la llamada revolución verde) por un nuevo concepto, el de la agricultura sustentable. Según en ese nuevo paradigma la agricultura sustentable es un “sistema integro de prácticas de producción de vegetal y animal que a largo plazo debe: 1) satisfacer las necesidades humanas de fibras y alimentos, 2) mejorar la calidad ambiental y la base de recursos naturales de los cuales dependen la economía agrícola, 3) hacer un uso eficiente de los recursos no renovables, 4) sostener la viabilidad económica de las actividades agrícolas y 5) aumentar la calidad de vida de los agricultores y de la sociedad como un todo” (39).

Además, gracias al uso más eficiente que hacen las plantas micorrizadas de los nutrientes del suelo, permite ahorrar fertilizante químico y reducir por consiguiente los problemas de contaminación con en exceso de fertilizante (40). Por otra parte las plantas micorrizadas son capaces de hacer un mejor uso de los fertilizantes orgánicos, bien sea debido a la producción de fosfatasas por parte de los hongos mismos, o bien gracias a la asociación existente entre las hifas de las MA y los microorganismos que participan en la mineralización de la materia orgánica (41).

2.7 Influencia de las micorrizas arbusculares en la absorción de fósforo por la planta.

Las diferentes combinaciones de planta/hongo también pueden proporcionar diferentes eficiencias de transferencia de fósforo a la planta (24).

Las MA mejora la nutrición mineral de la planta, en particular, la adquisición de fósforo y en cierta medida, nitrógeno (N). Estos son los nutrientes minerales esenciales, cuya disponibilidad a la planta con frecuencia limitan el crecimiento y, en consecuencia, muchas plantas presentan una cierta estimulación del

crecimiento cuando son colonizadas por hongos MA. Las moléculas de fosfato (P) y el carbono, también actúan como elementos reguladores de la simbiosis (42).

Las MA le aportan a la planta macro nutrientes como el fósforo, mientras que ellos reciben fotosintéticamente de la planta la fijación del carbono. El fósforo y los hidratos de carbono son los nutrientes más importantes que se intercambian entre ambos, pero también hay una significativa absorción de nitrógeno por el hongo y la transferencia a la planta (43).

El fósforo es un nutriente mineral esencial, este constituye el 0.2% (del peso seco) de cada célula de la planta y se requiere así en cantidades significativas. En muchos suelos, la concentración de fósforo disponible para las plantas limita el crecimiento. Por consiguiente, mejorar la adquisición de fósforo tiene un impacto significativo en el crecimiento de la planta, su salud, y como consecuencia en la biodiversidad de la planta y la productividad del ecosistema. Otros aspectos de la simbiosis son también importantes para la planta, como es el hecho de la fase extra-radical de hifas de la micorriza arbuscular que causa un impacto favorable al suelo formando agregados que favorecen su textura (41).

Bien podrían representar el segundo componente más grande en biomasa en muchos ecosistemas terrestres; así mismo, se ha encontrado que las MA asociada con las plantas, reciben entre el 60% y el 90% del carbono del dosel de los árboles (44). Las MA son importantes para la nutrición de las plantas por los hongos que pueden disolver minerales de sílice en algún grado, liberando elementos esenciales para las plantas (45).

2.8 Aplicación de las Micorrizas Arbusculares (MA) en la agricultura.

El uso de las micorrizas tiene un gran potencial biotecnológico debido a que facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por lo tanto, plantas micorrizadas poseen una ventaja importante con respecto a las plantas no micorrizadas. Sin embargo, el conocimiento sobre las interacciones entre las condiciones edáficas y la ecología de MA nativos y la efectiva asociación simbiótica entre las plantas y estos microorganismos es limitado. Por esta razón, el análisis de poblaciones de MA nativos y su ambiente edáfico, pueden conducir a su uso eficiente en la agricultura, especialmente, de países en vías de desarrollo (46).

Se utilizan dos métodos importantes para manejar las MA en la agricultura, uno de ellos es trabajar con hongos nativos con el fin de obtener el mejor beneficio de ellos, estimulando uno o varios de los géneros después de que han sido determinados y el otro, es introducir o inocular con MA seleccionados que puedan ser manejados con prácticas agronómicas que ya hayan sido utilizadas con estos hongos. El problema de este método está en que la inoculación puede alterar la acción de MA nativos eficientes, al tener que competir con los hongos seleccionados. Sin embargo, es una opción importante ya que sistemas de monocultivos reducen la abundancia de las especies fúngicas, debido a que limitan los beneficios que le proporcionan los MA a la planta, al seleccionarlos (46).

Algunas plantas como por ejemplo la guayaba o la palma de aceite son dependientes de MA, lo que indica que en suelo estéril el crecimiento de las

plántulas es deficiente. Plantas con sistemas radicales abundantes como la Yuca (*Manihotes culenta*), Cítricos (*Citrus*) y Cebolla (*Allium spp.*) pueden ser muy dependientes de la MA, mientras que plantas caracterizadas por raíces abundantes pero finas y con pelos radicales largos, son poco dependientes a la micorrización (46).

Otro ejemplo de estas es el incremento de la resistencia del tabaco a la enfermedad causada por *Thelaviopsis basicola* y el marchitamiento del tomate causado por *Fusarium oxysporum* que se redujo cuando las plantas fueron pre-infectadas por el hongo micorrizico *Glomus mosseae*. Por otro lado se sabe que los cítricos pueden presentar tolerancia a *P. parasítica* cuando estos están infectados con *Glomus fasciculatus* (10).

Trabajos realizados en diversas partes del mundo y con varios modelos, han combinado inóculo de las MA con cepas de distintas especies de *Trichoderma sp.* e incluso con otros microorganismos como fitopatógenos o promotores del crecimiento vegetal (47).

También se menciona que la aplicación excesiva de fertilizantes y herbicidas, entre otros agroquímicos, afectan el desarrollo de las endomicorrizas, se encontró que mediante las prácticas agrícolas, de fertilización y aplicación de pesticidas, se modifica el desarrollo de la simbiosis micorrizica. Por ejemplo: en yuca, la fertilización con nitrógeno y fósforo disminuye el nivel de colonización mientras que la fertilización con potasio la aumentó (48).

2.9 Aplicación de las MA en la Agricultura Orgánica.

Se sabe que las MA permiten usar de la manera más eficiente los nutrientes del suelo, lo cual puede reducir los problemas de contaminación por el exceso de fertilizante químico. Existe controversia en como la diversidad de las comunidades de MA tienden a disminuir en ecosistemas naturales transformados a Agroecosistemas, los mono-cultivos por ejemplo después de años de manejo agrícola pueden reducir la abundancia de las especies o géneros fúngicos (46). Estos son considerados como un recurso biológico multipropósito cuyo manejo, además de los efectos sobre la productividad vegetal, genera beneficios ambientales al mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo. Los beneficios desde el punto de vista biológico, se derivan de su interacción con los diversos grupos de macro y microorganismos de la rizosfera. Tal es el caso de aquellos que están implicados en el ciclaje de nutrientes como las bacterias fijadoras de nitrógeno y los microorganismos solubilizadores de fosfato (47).

Así mismo, interactúan con microorganismos implicados en el control biológico de patógenos presentes en el suelo, demostrando que existen diferentes tipos de interacción con MA. Algunos estudios sugieren que determinadas especies empleadas en control biológico pueden ser compatibles con las MA y en consecuencia pueden ser aplicadas conjuntamente en el mismo inoculó, con la finalidad de incrementar el crecimiento vegetal en términos de rendimiento y sanidad (47).

La importancia que ha cobrado en la actualidad la utilización de productos biológicos (controladores biológicos y biofertilizantes) como complementos de las actividades agrícolas, resulta fundamental ampliar el conocimiento que se tiene hasta el momento de los efectos de la inoculación con MA, haciendo énfasis en la relación de estos con otros microorganismos del suelo y de la rizosfera, en especial con aquellos que son utilizados comercialmente (47).

Algunos productos que se utilizan comercialmente en la agricultura orgánica y en la convencional son los biofertilizantes elaborados a base MA por los benéficos que se asocian a las raíces de las plantas y favorecen su nutrición. Se han hecho estudios que destacan el porcentaje de las bondades de las micorrizas en la agricultura y han sido muy notorias como por ejemplo, el cultivo de maíz con 11%, sorgo 10 %, cebada 20.7 %, frijol 22.1 % es el incremento de su desarrollo del cultivo (49).

En pruebas que ha hecho el INIFAP con estos biofertilizantes en la aplicación de semillas como maíz, sorgo, frijol y soya, se aplica 1 bolsa (1 kg) de MA para sembrar una hectárea. En cultivos de semillas de grano pequeño como trigo, cebada y avena la semillas requiere de 3 kg de MA para sembrar una hectárea (49).

2.9.1 Las MA como alternativa para una agricultura sustentable.

Las MA cumplen una función clave en la agricultura sostenible. En el prefacio del libro ***Mycorrhizae in sustainable agriculture***, menciona que "si el objetivo es reducir los insumos químicos por razones ambientales y de salud, entonces se necesita re-establecer los hongos micorrizógenos y otros microbios

benéficos a un alto nivel de efectividad para compensar la reducción de insumos" (31). Esta estrategia coincide con el punto de vista de que el grado de empobrecimiento o desaparición de la microflora de las MA es un indicador del descenso en estabilidad del sistema suelo-planta, de la misma forma que el nivel de estrés causado por las prácticas culturales es una medida de insostenibilidad de la agricultura (31).

Además de su importancia ecológica, la asociación también puede tener aplicaciones en la agricultura, en particular en sistemas sustentables, donde la relación íntima entre el suelo y la planta creada por la micorriza, su impacto sobre el movimiento de nutrientes, las plantas y la nutrición y conservación del suelo, pueden ser aprovechados plenamente (20).

Los sistemas de agricultura sostenible se esfuerzan por reducir al mínimo el uso de pesticidas sintéticos y para optimizar el uso de estrategias alternativas de gestión para controlar los patógenos del suelo. Las micorrizas arbusculares son omnipresentes en la naturaleza y constituyen un componente integral de los ecosistemas terrestres. Además son particularmente importantes en la producción ecológica y sistemas agrícolas sustentables que se basan en procesos biológicos en lugar de agroquímicos para el control de las enfermedades de plantas (20)

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del área de estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila ubicado entre los meridianos 25° 56" Longitud Norte; 103° 37" Longitud Oeste, con una altitud de 1122 msnm con una temperatura media anual entre los 20 a los 22°C y con una precipitación media anual de 253 mm/año (50).

3.2 Descripción del experimento.

Se estableció un experimento con dos tratamientos, fertilización orgánica y fertilización convencional. Se tomaron muestras del suelo para identificar y cuantificar la diversidad de esporas de MA, la fase de campo se realizó en el verano de 2009 (Arreola, 2010), en ese sentido, el presente trabajo es seguimiento, así, la principal actividad realizada fue en la identificación de la diversidad de esporas en la fase de laboratorio.

Se marcaron 9 puntos por cada parcela, lo cual se obtuvieron 18 muestras las cuales se pusieron a secar sobre papel. Ya secas, se pesaron 50g de suelo y la muestra se colocó en un matraz con un litro de agua y se colocó en una plancha magnética para homogenizar la muestra y suspender o separar las esporas del suelo. Después de 5 min se dejó decantar por 1min, se vació el sobrante en una serie de tamices (71 μ m, 149 μ m, 44 μ m), se lavó con bastante agua hasta que saliera cristalina. Lo ya filtrado se colocó en vasos de precipitado 50ml (solo los tamices 147 μ m y 44 μ m). De estas muestras se tomaron 15 ml proporcionándole a cada tubo, centrifugando a 1800 rpm

durante 5 min, se vació lo centrifugado y se agregando 10 ml de sacarosa al 40% volviendo a centrifugando a 3000 rpm x 2min. Se filtro el sobrante en un tamiz de 40 µm lo los residuos se paso a un embudo con papel filtro que posteriormente fue colocado, el papel fue colocado en cajas Pietri, para ser observadas y pasarlas a laminillas y así ser observadas en el microscopio para su identificación, las claves que utilizó López (1998), los parámetros de Flores (1988), el catalogo de Peña- Venegas (et al 1998) y NVAM.

3.2.1 Manejo del cultivo maíz (*Zea mays L.*) en ambas parcelas.

Se utilizó el híbrido AN 423, la cual ha demostrado alto rendimiento, calidad y tolerancia a plagas, enfermedades y algunas condiciones de sequía. Los labores culturales que se realizaron fueron: barbecho después se realizo un rastreo para eliminar cualquier tipo de maleza que haya quedado de siembras anteriores, por consiguiente se realizo una nivelación que sirve en la hora de riego para que sea uniforme después se realizo la siembra, se realizo un bordeo para evitar que el agua se saliera de las parcelas y para tener mayor control de esta, la fertilización se realizo a base de productos orgánicos (vermicomposta 8.181ton/ha) y químicos (UREA + Fosfato Monoamoniaco (MAP)) recomendadas por el INIFAP. El Riego fue por gravedad, un riego de aniego y tres riegos de auxilio. Embase a control de plagas y enfermedades se utilizaron productos autorizados por la norma oficial (aceites, parafinas, trampas, etc.) para la producción de productos orgánicos.

Para el control de plagas y enfermedades se basó en las normas oficiales para la producción de productos orgánicos. Reglamento del Consejo Europeo (CE) 834/07 y (CE) 889/08.

3.2.2 Muestreo de suelo.

La investigación se realizó en dos parcelas de maíz, una manejada de forma orgánica y la otra de manera convencional en las cuales se trazaron 9 puntos con tres observaciones de distintas profundidades. Obteniendo 27 muestras de suelo, por cada una de las parcelas.

3.2.3 Colecta de Muestras de suelo.

Primero se tomaron las muestras de suelo del cultivo de maíz orgánico, y después las del maíz convencional.

Para la toma de muestras se utilizó una barrena de caja. Se muestrearon nueve puntos aleatoriamente para cada parcela de estudio, de estas se tomaron tres muestras a profundidades de 5cm, 10cm y 20cm es decir, un total de 54 observaciones totales de 250 g cada una.

Una vez obtenidas las muestras, se colocaron en bolsas de plástico y etiquetadas con los siguientes datos; a) número de muestra, b) Tipo de cultivo c) Profundidad.

3.3 Preparación de la muestra en laboratorio.

Las muestras se trasladaron al laboratorio de Agroecología donde se dejaron secar a temperatura ambiente, sobre papel secante. Una vez secas, de cada punto y profundidad, se pesaron 83.33 g, homogeneizándose para obtener una sola muestra. Así, se obtienen 18 muestras de 250 g de cada parcela.

3.4 Procesamiento de la muestra.

3.4.1 Extracción de esporas.

La extracción de las esporas de las MA se llevó a cabo por la técnica de Jenkins descrita por Ferrera- Cerrato (51), con el siguiente procedimiento:

El extracto de las muestras de suelo se obtuvo en el laboratorio de Agroecología y la centrifugación se llevó a cabo en el laboratorio de Parasitología.

De cada muestra homogenizada, se utilizaron 50 g de suelo agregándolos a un litro de agua, luego se colocó en un agitador magnético por 5 min y se dejó reposar 60 s, el sobrenadante de la muestra se filtró por una serie de tamices (71 μm , 149 μm , 44 μm) lavando con abundante agua corriente cada una de las fracciones, hasta que el agua saliera clara, después de haber lavado cada una de las fracciones se colocaron en vasos de precipitado de 40 ml, solo las de los tamices de 149 μm y 44 μm de abertura de maya, en donde se contienen las esporas.

Antes de pasar a la centrifugación, se preparó una solución de sacarosa al 45 % (450 g de azúcar en litro de agua destilada). De cada fracción seleccionada se colocaron 15 ml de extracto en tubos de ensayo de 20 ml, sellando con papel parafilm y etiquetando cada tubo, agitándole manualmente para

homogenizar la mezcla, se colocaron los tubos en la centrifuga para centrifugar a 1800 rpm en un periodo de 5 min, al terminar la centrifugación se decanto el sobrenadante de cada uno de los tubos de ensayo, dejando el precipitado para agregarle 10 ml de solución sacarosa al 45%, se mezcla manualmente el contenido de cada tubo y se colocan en la centrifuga, esta vez a 3000 rpm por 2 min, se decanta el sobrenadante en un tamiz de 40 μ m, lavando con una pizeta la sacarosa contenida en las esporas, pasándolas en seguida a papel filtro colocado en un embudo de vidrio sostenido por un soporte universal; se lavo con la pizeta el tamiz para que las esporas cayeran al papel filtro previamente cuadrículado (0.5 x 0.5 cm), una vez filtrada el agua, cada papel filtro se coloco en una caja de Pettri previamente etiquetada, y se observó en el estereoscopio para la separación de esporas por medio de un pincel y transferirlas a un portaobjeto para fijarlas con Lacto fenol y sellarlas con barniz transparente para su identificación.

3.4.2 Determinación de género de esporas.

La determinación de género de esporas MA se realizo en el laboratorio de Agroecología. Para la identificación de esporas se realizo por las siguientes características morfológicas(51).

a)Tamaño; b) Color; pueden ser: hialino, amarillo, rojo, negro, miel, rosado y otros colores; c) Forma; puede ser: redonda esférica, ovalada, irregular, elipsoide, sub globosa u otras; d) Estructura superficial; puede ser: lisa, áspera, ornamentada, ondulada, y la más importante que es e) el Número de paredes (51).

3.5 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental de parcelas apareadas con dos tratamientos y cuatro repeticiones (Anexo 3) con un grado de confiabilidad de 0.95. La variable a evaluar fue la diversidad de esporas de Micorrizas Arbusculares (MA).

Adicional a la diversidad de esporas de MA se analizaron de manera muy general algunas variables físico-químicas del suelo.

3.6 Análisis de datos.

Los datos que se obtuvieron durante el procesamiento de las muestras fueron sometidas a análisis de varianza con un grado de significancia menor o igual a 0.05, con el método de parcelas apareadas de las cuales se compararon los resultados de la parcela convencional y orgánica y a si ver, si existe diferencia de diversidad de géneros de micorrizas arbusculares. Considerando a más los análisis de suelo se llevo a cabo para determinar si algún factor físico-químico influía en la diversidad de la simbiosis.

IV.- RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de los géneros y especies encontradas.

Se describen las características observadas de las esporas de los géneros de las MA con sus probables especies, las cuales fueron obtenidas y cuantificadas en el laboratorio de Agroecología.

4.1.1 *Glomus*.

Del latín “bola de hilo” se caracteriza por Clamidosporas unicelulares grandes, de forma: globosa a ovalada y algunas irregulares que nacen de una sola hifa (hifa de sostén o suspensora), que puede ser: recta, acampanada o en forma de embudo. Cuando maduran las esporas se separan de la hifa por medio de un septo, o por oclusión de depósitos de material de la red. El color de las esporas varía de hialina, amarillo, café, naranja o negro. Se pueden formar esporocarpos y su arreglo es variado. Las capas más externas de la espora son mucilaginosas y con la edad adquieren un aspecto costroso. En algunas especies la hifa suspensora es tan delgada que se dificulta su observación o es difícil de separarla de la superficie de la espora Figura 3 (52-53). De este género se identificaron 4 especies, las más abundantes.



Figura 3.- Esporas del género *Glomus*; A) hifa suspensora; B) capas. Tomada a 40 x al microscopio (por Bazaldúa –Trujillo).

4.1.1.1 *Glomus fasciculatum*.

Esporas en racimos esféricos a globosas de 29.95-37.25 μ de diámetro, de un color amarillento hialino, con paredes de 1.9 μ de espesor lisas; hifas suspensoras rectas o recurvadas Figura 4.

Muñoz-Márquez *et al.*, (2009) mencionan que esta especie mejora la nutrición por N y P de las plantas, propiciando mayor vigor y capacidad de crecimiento a las mismas. Esta especie fue una de las más frecuentes en los sistemas productivos, estudiados.



Figura 4.- Espora de *Glomus fasciculatum*. A) Hifa suspensora; B) paredes que conforma la espora, Tomada al 40 X, (Bazaldúa -Trujillo).

4.1.1.2 *Glomus rubiformis*.

Esporocarpos negros al estereoscopio de menos de 10 esporas, de color amarillo cafetoso cuando son jóvenes. Esporas globosas a subglobosas de color café oscuro al microscopio cuando son maduras o amarillas cuando conforman esporocarpos jóvenes Figura 5.

Las esporas se organizan unidas a un plexo central. Se distinguen tres paredes formando un único grupo: La más externa consiste en una capa transparente,

mucilaginosa, lisa, que recubre de forma homogénea las esporas, extendiéndose hasta la hifa. Las conexiones hifales y plexo son simples, sin presentar vesículas, o más de un origen para el plexo central (53).

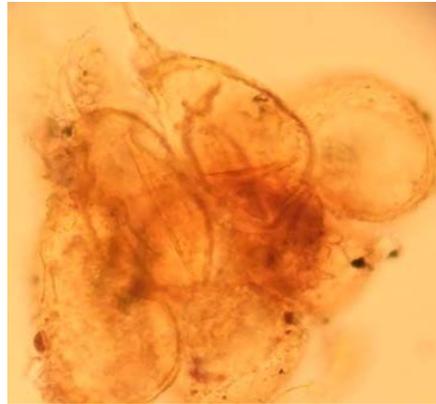


Figura 5.- *Glomus rubiformis*, tomada al microscopio, con el objetivo 40X (por Bazaldúa-Trujillo)

4.1.1.3 *Glomus sinuosum*.

Espora en esporocarpos generalmente de forma globosa algunas veces imperfecta, de 200-360 μ . De color naranja al estereoscopio y al microscopio de color amarillo rojizo a café fuerte. En muchas ocasiones las paredes es difícil distinguirla, por la presencia de citoplasma que la rodea. La Figura 6 muestra que aún cuando no es fácil apreciar la hifa, esta es gruesa, de una sola pared. INVAM reporta septos, pero estos son muy difíciles de apreciar (53).

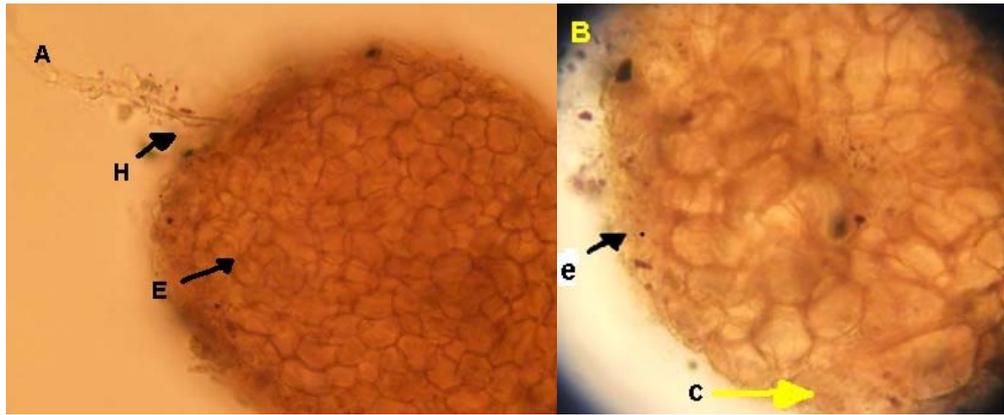


Figura 6.- *Glomus sinuosum*: A) la espóra muestra: H) la hifa, E) esporocarpos, B) e) esporocarpos compactos rodeados de una masa densa de hifas con esporas organizadas; c) masa densa de hifas. Tomada al microscopio a 40x (por Bazaldúa-Trujillo.)

4.1.1.4 *Glomus sp8.*

Por lo general se encuentran solitarias, de una forma globosas a subglobosas, de 70 a 100 μ de diámetro, de color café - café rojizo oscuro al estereoscopio a café fuerte al microscopio (40X). Puede presentar mucílago adherido a la superficie, pero en general la superficie es lisa y limpia. Las paredes de las esporas se distinguen claramente formadas por dos paredes la pared mas interna está pegada a la pared laminada, de color más claro. La hifa es gruesa y recta sin septos. Algunas veces las hifas formas proyecciones a los lados cerca del sitio de formación de la espóra Figura 7 (51-53).

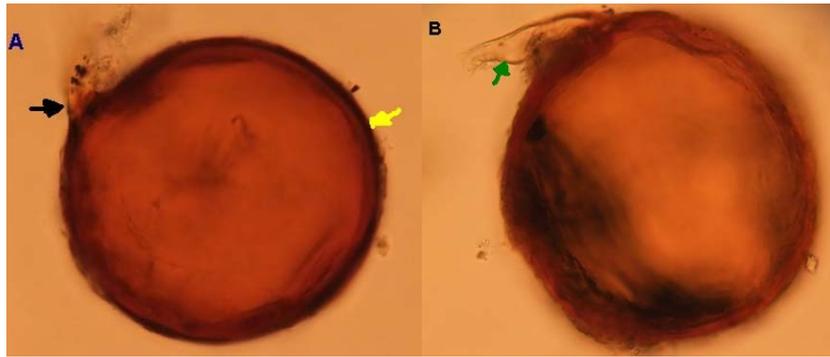


Figura 7.- Género *Glomus* sp8, A) la flecha negra muestra la conexión hifa (40X); y la flecha amarilla muestra las capas de la cual está conformada: B) la flecha verde muestra la hifa con una pequeña proyección de la hifa (40X) por (Bazaldúa-Trujillo)

4.1.2 Gigaspora.

Del griego “espora gigante, las **Gigaspora** no presentan ornamentaciones en sus paredes. Se encuentran solitarias en el suelo, ó algunas veces dentro de las raíces (54). Sus esporas se presentan en forma parecida a las de *Glomus* pero difieren en la hifa de sostén, la hifa es bulbosa con septos a distancias regulares por debajo de la espora (52). Globosa, grande, de 200 a 240 micras de diámetro, opaca, de color amarillo pálido a amarillo (53).Figura 8.

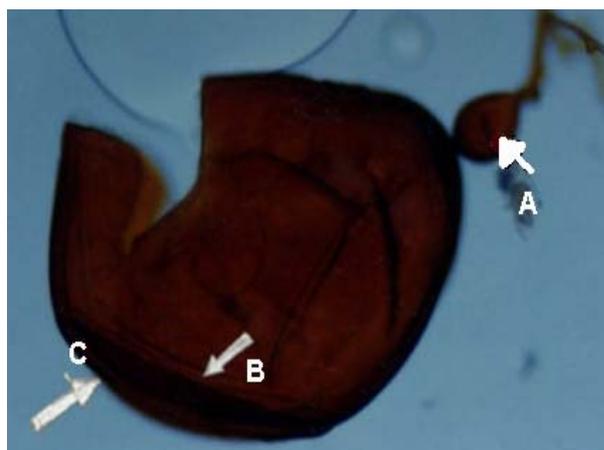


Figura 8.- Género de *Gigaspora*. La flecha A señala la hifa suspensora bulbosa; la flecha B señala la pared interna y la flecha C señala las laminas que forma la pared exterior (Bazaldúa-Trujillo)

4.1.3 Acaulospora.

Del griego “sin cauda”. Las zigosporas se forman lateralmente en una hifa suspensora (llamada “cuello del saco). Las esporas se desarrollan después de la formación de un sáculo esporífero, este se forma en el extremo de una hifa gruesa y pueden contener en su interior hifas finas (51-53) . Las esporas se encuentran solitarias en el suelo o algunas veces junco con las raíces, ó en los esporocarpos que pueden alcanzar hasta varios centímetros de longitud; las esporas globosas a subglobosas, elipsoidales, o ampliamente fusiformes, conteniendo gotas de aceite, están compuestas de dos grupos de paredes la externa puede estar pigmentada, laminada y con diversas ornamentaciones, la interna está compuesta por una o más capas membranosas, hialina, puede ser laminada, ornamentada con poros, espinas, papilas o retículos que usualmente se tiñe de color rojo o púrpura (52). En este género se lograron identificar 3 especies.

4.1.3.1 *Acaulospora denticulata*.

Esporas de forma globosa o subglobosas, de color hialinas amarillentas a café claro al madurar; con numerosos poros en la pared externa que son circulares a hexagonales con ángulos en forma de “Y”, presenta más de dos paredes la externa, punteada, hialina a amarillo claro verdoso Figura 9. Está especie fue encontrada con mayor frecuencia en ambas parcelas.

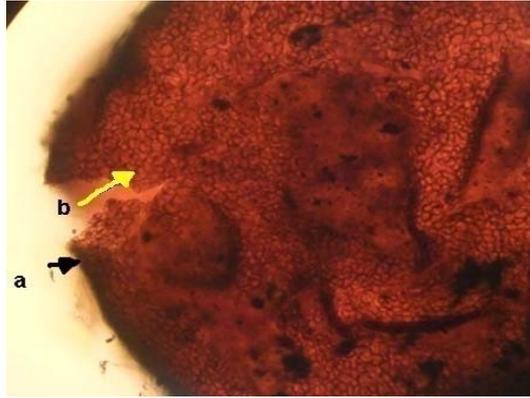


Figura 9.- Género *Acaulospora denticulata*, a) pared externa de la espora; b) la flecha amarilla muestra los poros que conforman ángulos en forma de “Y” (40X) Bazaldúa -Trujillo.

4.1.3.2 *Acaulospora rehmii*.

La espora es globosa o subglobosa, de 100-160 μ de diámetro, de color blanco al estereoscopio, y blanca o amarilla clara (40X) al microscopio. Está compuesta por tres grupos de paredes, el externo que está formado por una pared evanescente difícil de apreciar, seguida de una pared gruesa, ornamentada con depresiones en las esporas jóvenes, el otro par de pared es mas interna y transparente, Figura. 10 INVAM 2000, la cicatriz está en un rango de 7-12 micras de diámetro y que es muy difícil de distinguir (53).

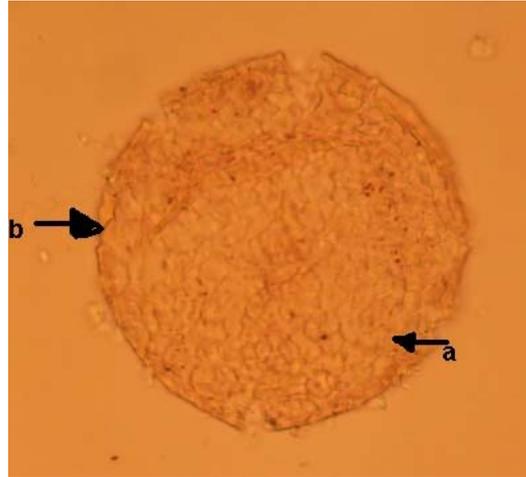


Figura 10.- Género *Acaulospora rehmii*. De color amarillo claro, a) depresiones pequeñas y poco profundas (40X); b) Pared externa ornamentada (40X). Foto tomada por Bazaldúa-Trujillo.

4.1.3.3 *Acaulospora sp4*.

Esporas esféricas de 181 a 207 μ de diámetro; de color café, con paredes de color anaranjado a rojizo: presenta 4 paredes; las más externas presentan algunos septos, la pared externa no presenta ornamentaciones (55). Fig. 11. aun que este género no fue tan abundante en los suelos del cultivo del maíz.

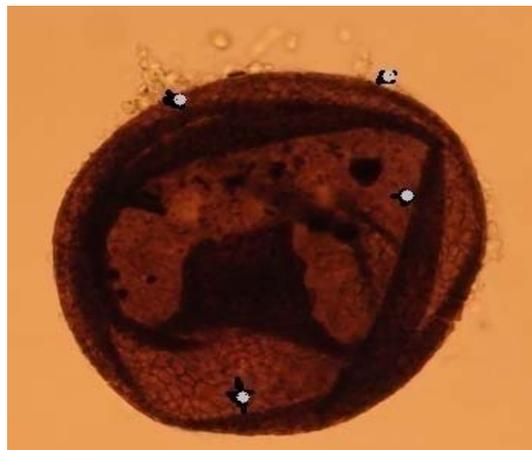


Figura 11.- Género *Acaulospora sp4*. Los circulitos de color gris presentan las 4 paredes de la cual está conformada la espora.

4.1.4 Entrophospora.

Del Griego “espora sésil” las azigosporas se forman junto debajo del saco esporógeno. Las esporas se encuentran solitarias en el suelo, las paredes interiores tienen una superficie exterior fuertemente ornamentada y la pared mas interna es delgada y membranosa. En muchas esporas la pared externa presenta restos del saco esporífero, aparentando una pared gruesa y pálida. En este estudio solo se presento con un 10% en el suelo orgánico mientras que en el suelo convencional un 7%.

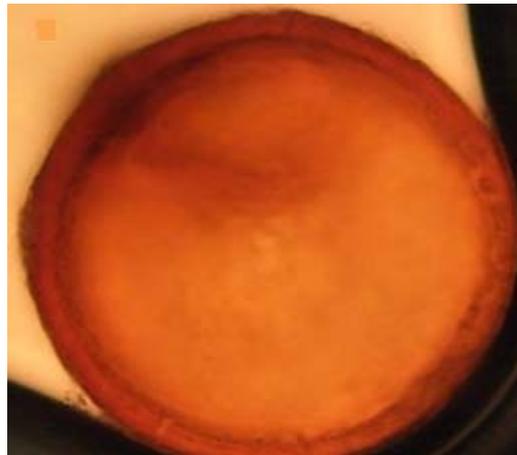


Figura 12.- Género *Entrophospora*, encontrada en los cultivo del maíz, foto tomada a (40X) al microscopio por (Bazaldúa- Trujillo).

4.1.5 Sclerocystis.

Del Griego “vesícula dura” las clamidosporas de los esporocarpos (i.e, fructificación de paredes gruesas y endurecidas) se encuentran apiladas en capas de esporas erectas, se desarrollan a partir de una masa de hifas flexuosas a densamente apretadas que se originan de una hifa columna basal. Las esporocarpos pueden encontrarse solitarias en suelo en costras de

material orgánico o en musgo en la superficie del suelo, este último caso solo ocurre en los trópicos húmedos o en condiciones húmedas de invernadero (52). Este género fue encontrado en el cultivo convencional se encontraron cuatro esporas, mientras que el orgánico solo una espora. Figura 13.



Figura 13.- Género *Sclerocystis* foto tomada por INVAM (55).

Esporocarpos esféricos de color café claro a ocre; esporas piriformes globosas y alargadas, amarillas rojizas de paredes lisas. 40X al microscopio Figura 14.

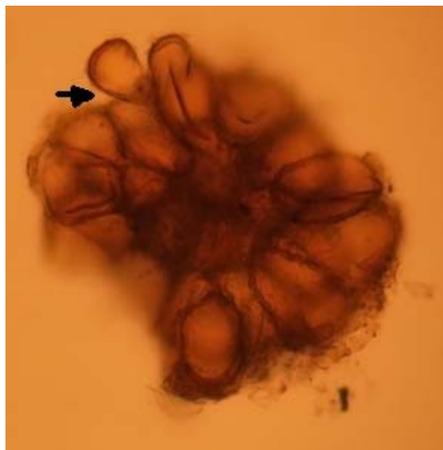


Figura 14.- Género *Sclerocystis* spp encontrado en el suelo del cultivo del maíz, la flecha muestra los esporocarpos de color amarillo rojizo (40X) (Bazaldúa-Trujillo).

La presencia del género de ***Sclerocystis*** fue escaso solo se manifestó un 2% en el maíz convencional mientras que en el maíz orgánico no hubo presencia. López, (1998) menciona que este género es encontrado en las zonas húmedas de las zonas tropicales (52). Por lo cual las condiciones no fueron satisfactorias para este género.

4.1.6 Scutellospora.

Del Latín “escudo”, presenta esporas con ó sin ornamentación. La organización subcélular consiste de una pared con dos capas y de una a tres paredes internas flexibles. La espora se desarrolla en la base del extremo de una hifa, la cual se dilata y se convierte en la llamada “célula esporógena”. La pared mas externa comienza su desarrollo simultáneamente y no es distinguible, en la etapa juvenil de la espora. Los tubos germinativos emergen de un escudo persistente siempre y cuando se encuentren en la capa más interna cuando la espora la ha concluido su desarrollo, produciendo células auxiliares de pared delgada, con pequeñas protuberancias que son reproducidas por hifas en el suelo cerca de la superficie de la raíz (52).

4.1.6.1 Scutellospora sp1.

Las esporas son globosas, de 120 a 280 micras de diámetro, transparentes a amarillo pálido, presenta dos paredes, una pared hialina externa, seguida por una pared laminada, transparente amarillo pálido. El grupo de paredes internas está formado por aproximadamente 3 capas de paredes membranosas, transparentes, delgadas, que tienden a arrugarse.

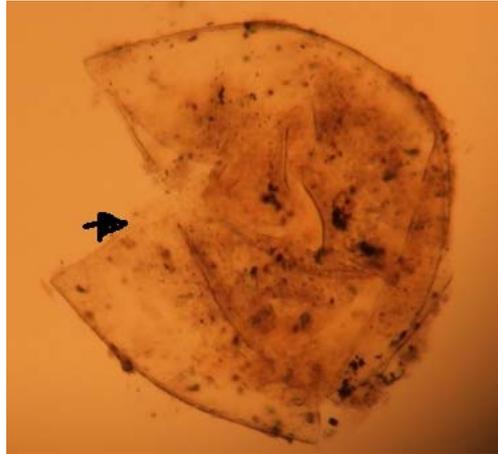


Figura 15.- Género *Scutellospora sp1*. Espora rota mostrando la composición de la pared esporal, (40X).

4.1.7 Archaeospora.

En las paredes de la espóra, fácilmente se observan cuatro capas. Una externa, de superficie irregular, mayor de 6 μm de espesor, la cual tiende a cuartearse y suele adherir detritos a su superficie. Existe una segunda pared, que no se diferencia claramente de la pared externa, pero que se evidencia por ser la que se extiende hacia el pedicelo, ornamentada con una superficie de protuberancias convexas como pequeñas ampollas (53).

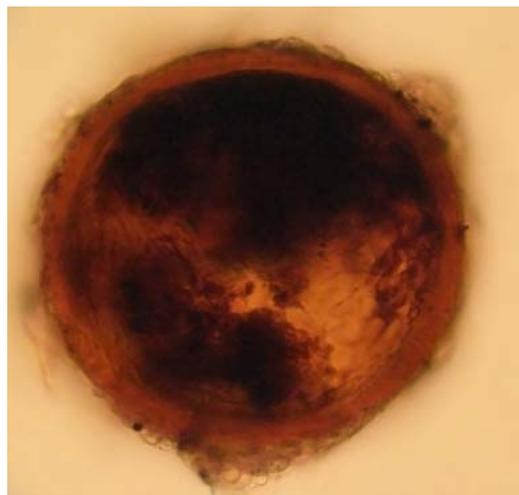


Figura 16.- Género *Archaeospora*. Detalle de la composición de la pared esporal (40x) Bazaldúa- Trujillo

La presencia de este género fue escaso en relación con los géneros *Glomus* y *Acaulospora* los cuales se encontraron en mayor cantidad esto se debe a las condiciones físicas del suelo, las cuales favorecen su desarrollo y el incremento de estas esporas. Algunos autores mencionan que para tener porcentajes satisfactorios para estos géneros es importante también que haya una buena aireación, humedad, la presencia de cobertera natural, el riego por goteo y la incorporación de abonos orgánicos para ayudar a que los niveles de colonización de MA se incrementen (56).

4.2 Micorrizas arbusculares en el suelo.

4.2.1 Identificación de esporas.

Se encontraron seis géneros en ambos sistemas de producción, pero hubo una diferencia en base al cultivo convencional, éste presentó un género más que fue el género *Sclerocystis* encontrado en el sistema convencional como se observa en la Figura 21. Los géneros *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Archeospora* y *Scutellospora* fueron los que se presentaron en los dos sistemas de producción. Cabe mencionar que las esporas del género *Glomus* se presentó en gran cantidad en forma de esporocarpos, en forma agrupada, teniendo una composición muy compacta Figura 17 y 18. El Género *Acaulospora* fue el segundo género más abundante Figura 19. Se presentó en la misma cantidad en los dos sistemas de cultivo Figura 20 y 21.

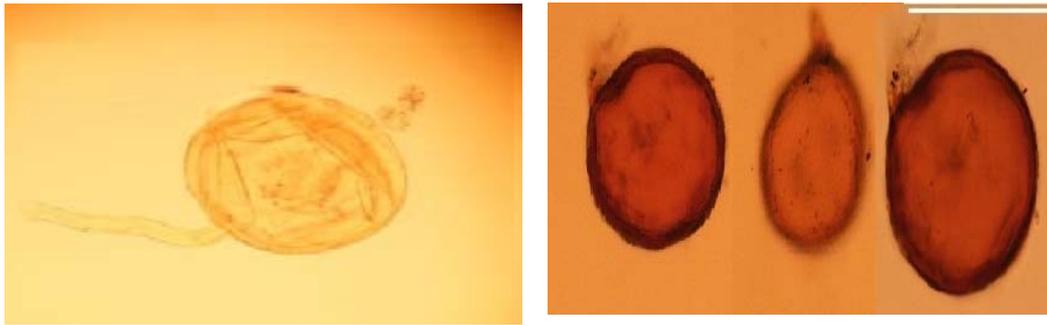


Figura 17.- Espora del género *Glomus* y esporocarpos del mismo género tomada a 40 X al microscopio.

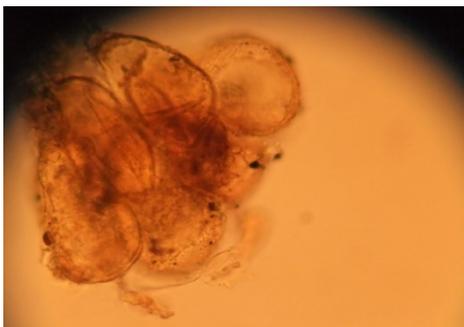


Figura 18.- esporas del género *Glomus* agrupadas 20 X.

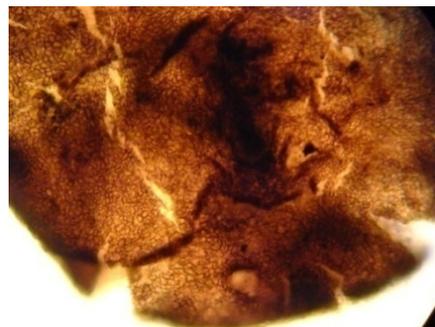


Figura 19.- Espora de *Acaulospora* Tomada al microscopio 40X.

4.2.2 Identificación de géneros en las parcelas Convencional y Orgánica.

Se encontró un género más en la parcela convencional, que en el orgánico el Cuadro 2 y Cuadro 3 se muestran los géneros y el porcentaje encontrados en cada parcela, Flores (1988) en su trabajo de investigación reportó cuatro géneros de los cuales son *Glomus*, *Gigaspora*, *Entrophospora* y *Acaulospora* siendo el primero el más frecuente, para este trabajo también el género *Glomus* fue el de mayor frecuencia, la Figura 20 y la Figura 21 muestran los porcentajes obtenidos para cada uno de los géneros por parcela.

Cuadro 2.- Géneros encontrados en cada parcela.

| Géneros | Maíz Convencional | Maíz Orgánico |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| <i>Glomus</i> | X | X |
| <i>Gigaspora</i> | X | X |
| <i>Scutellospora</i> | X | X |
| <i>Acaulospora</i> | X | X |
| <i>Entrophospora</i> | X | X |
| <i>Sclerocystis</i> | X | |
| <i>Archaeospora</i> | X | X |

Faggioli y colaboradores (2008) menciona que los sistemas convencionales normalmente tienen un bajo impacto sobre las poblaciones micorrizicas. Lo cual coincide con este caso, donde el convencional presento mayor micorrización y mayor número de esporas.

Cuadro 3.- Porcentaje de esporas de cada género en Maíz convencional y Orgánico.

| Géneros | Maíz Convencional, % | Maíz Orgánico, % |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <i>Glomus</i> | 45.15151515 | 51.25448029 |
| <i>Gigaspora</i> | 8.484848485 | 5.734767025 |
| <i>Scutellospora</i> | 5.151515152 | 2.508960573 |
| <i>Acaulospora</i> | 28.48484848 | 28.67383513 |
| <i>Entrophospora</i> | 6.96969697 | 9.677419355 |
| <i>Sclerocystis</i> | 2.424242424 | 0.358422939 |
| <i>Archaeospora</i> | 3.333333333 | 1.792114695 |
| <i>Total %</i> | 100.000000 | 100.000000 |

Estudios hechos por Muñoz- Márquez y colaboradores (2009) (56) mencionan que el género *Glomus* y *Gigaspora* fueron los más abundantes para la región de Chihuahua. Tapia-Goné y colaboradores (2008) (57) dicen que para San Luis Potosí se encontró que los géneros más abundantes fueron *Acaulospora*, *Gigaspora* y el género *Glomus*. Estos géneros presentes en cultivos de chile, tomate, maíz y girasol en suelos salinos. Los géneros identificados en mayor proporción (Figura 20 y Figura 21) para el presente estudio fueron el género *Glomus* y *Acaulospora* lo cual concuerda con la investigación de tapia-Goné y colaboradores (2008) (53).

Los géneros identificados por estos investigadores se relacionan con los encontrados en este trabajo, observando que efectivamente los géneros *Glomus* y *Acaulospora* se encontraron con mayor frecuencia en ambas parcelas. Figuras 20 y 21; aunque el género *Gigaspora* no se quedo tan atrás.

Maíz Orgánico

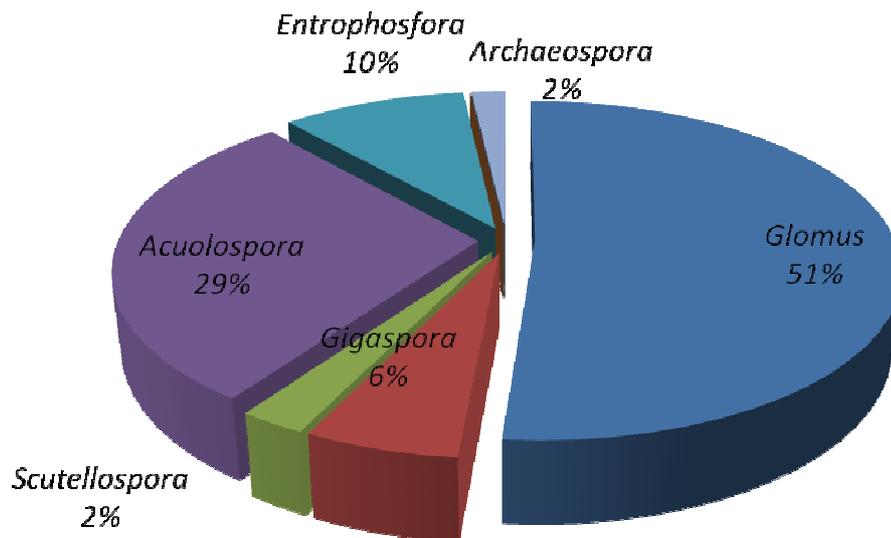


Figura 20.- Géneros encontrados en el maíz orgánico El género *Glomus* y *Acaulospora* fueron los que más predominaron en las parcelas de maíz. Mientras que los géneros *Scutellospora* y *Archeospora* el mínimo. Manjares-Martínez y colaboradores (1999) mencionan que no hay diferencia significativa con un manejo orgánico (vermicomposta) con las asociaciones de micorrizas arbusculares (58).

Maíz Convencional.

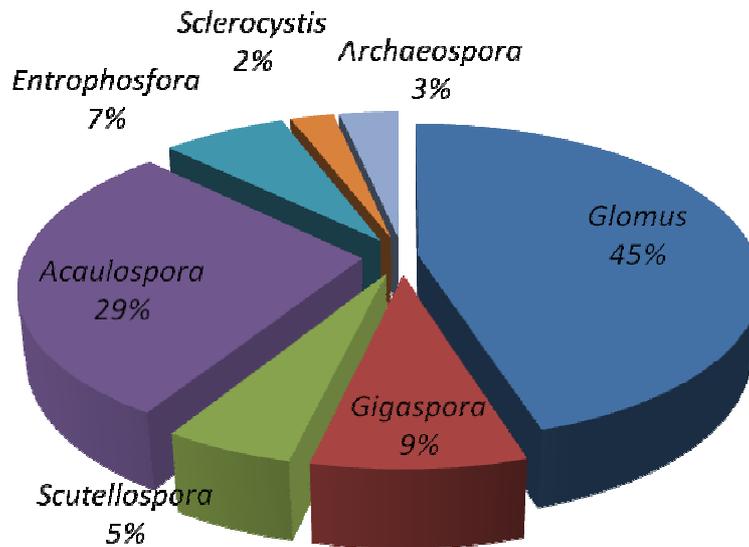
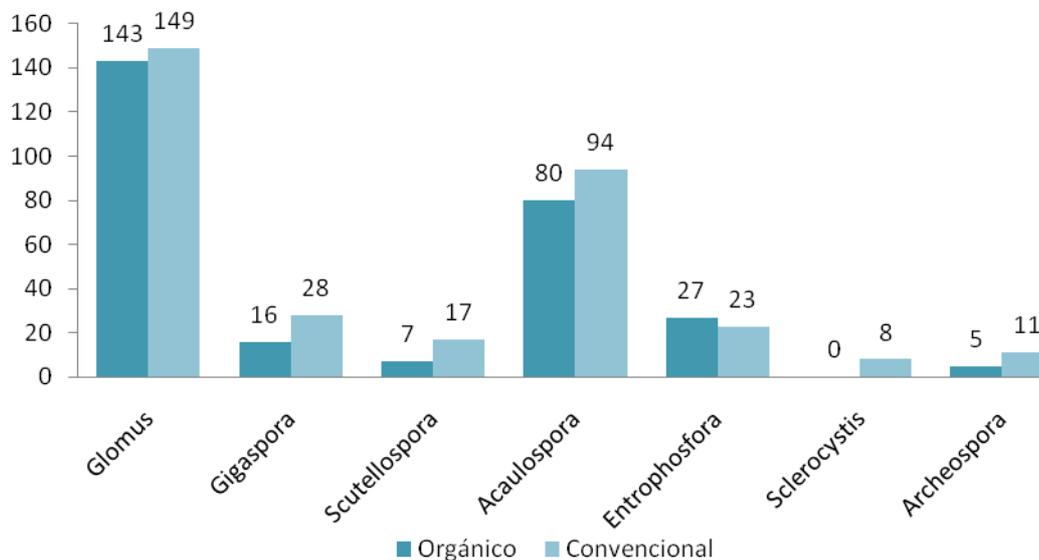


Figura 21.- Géneros de micorrizas arbusculares encontrados en el suelo del Maíz Convencional. Como ya mencionado por Tapia-Goné (2008) los tres géneros más frecuentes son Glomus, Acaulospora y Gigaspora para este tipo de cultivo.

En la Figura 22, se presenta el número de esporas de cada género en las dos parcelas. El análisis se estableció por el método de parcelas apareadas, donde se determinan los valores de cada género, se comparan la t_e de cuadro (t_0) con la t_e de tablas (t_t) para establecer si son significativos o no significativos. Collins y colaboradores (1991) mencionan que el porcentaje de esporas por 50g de suelo no es bajo para condiciones nativas, si tenemos en cuenta los datos reportados por quienes encontraron entre 0 y 49 esporas en un gramo de suelo, en un experimento en el que se evaluaron poblaciones MA asociadas en cultivos de maíz y soya. Igualmente Douds y colaboradores (1995) encontraron entre 1 y 43 esporas por 50 g de suelo en cultivo de maíz, soya y trigo en sistemas de labranza convencional y mínima. De acuerdo con lo



mencionado se puede decir que se encontró por cada 50 g de suelo de maíz de de 0 a 50 esporas.

Figura. 22 Número de esporas por género en el suelo de maíz de convencional y orgánico.

4.2.3 Distribución de los géneros de MA en el maíz orgánico y convencional en los nueve puntos.

4.2.3.1 Género *Glomus*.

Para el género *Glomus*, el análisis estadístico presenta diferencia lo cual indica que el tratamiento en forma convencional favorece el crecimiento de las esporas, en la Figura 23, se muestran la distribución del género por cada punto de muestreo y la diferencia del tratamiento convencional del orgánico. Barrera (2010) menciona que el género *Glomus* y en especial la especie *G. intraradices* es encontrada con mayor frecuencia en plantas leguminosas con alto contenido de nitrógeno en producción convencional.

Género Glomus.

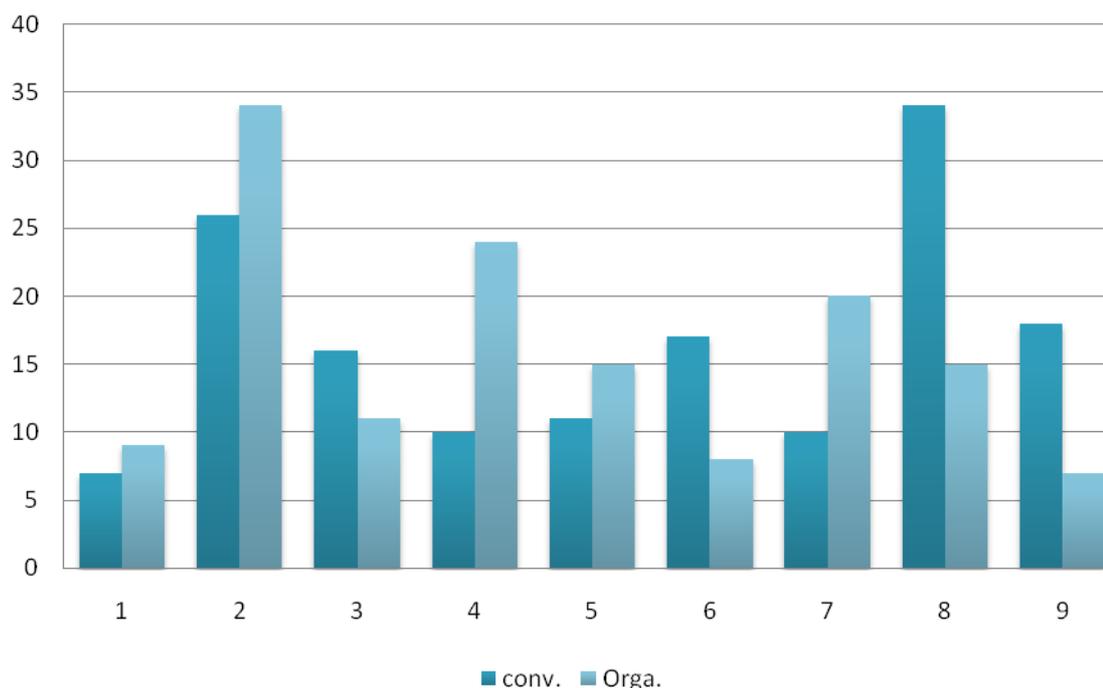


Figura 23.- Distribución del género *Glomus* por cada punto de muestreo en el maíz convencional y orgánico.

4.2.3.2 Género Acaulospora.

Para variación *Acaulospora*, que fue uno de los géneros con mayor presencia de esporas en maíz convencional que en el orgánico Figura 24, el análisis estadístico indica que presento diferencia estadística, lo cual indica que el tratamiento convencional se encontró mayor cantidad de esporas de este género. Aunque Manjarrez, y colaboradores (1999), mencionan que el efecto de la vermicomposta (orgánico) altera positivamente la colonización micorrizicas, en la Figura 24 se muestra que existe diferencia entre los tratamientos empleados en la presente investigación.

Género Acaulospora.

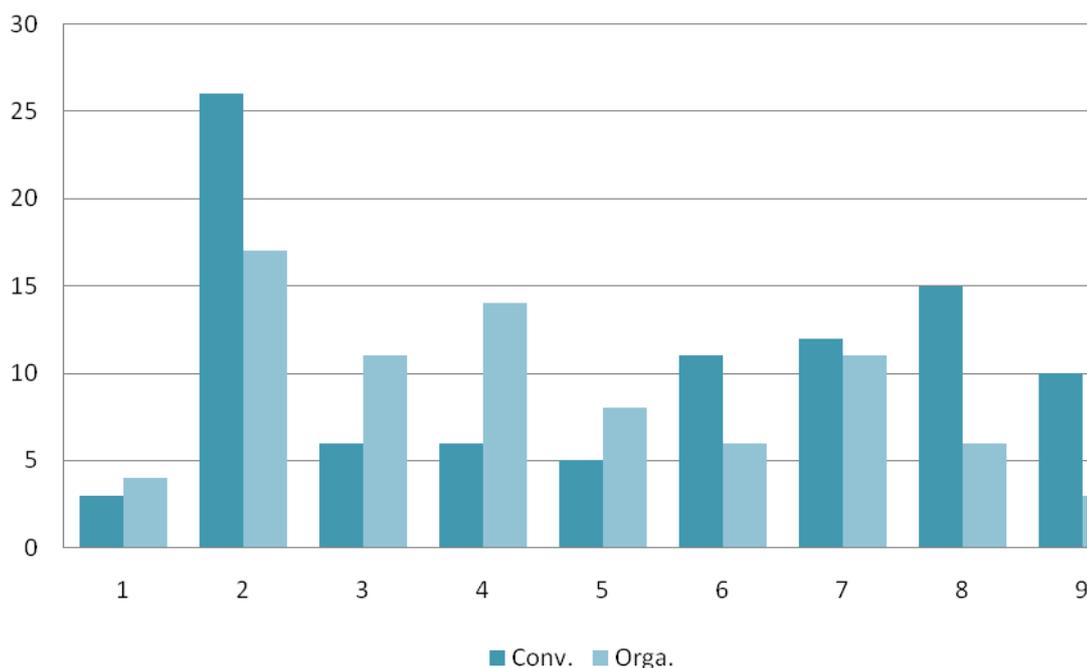


Figura 24.- Género *Acaulospora* en el maíz convencional y orgánico

4.2.3.3 Género *Gigaspora*.

Las esporas del género *Gigaspora* fueron encontradas en cantidades menores que las del género *Glomus* y *Acaulospora*, los análisis estadísticos presenta una diferencia significativa entre parcelas, ya que el sistema de producción convencional obtuvo mayor presencia de esporas. Figura. 25 se muestra que en el punto ocho el número de esporas aumenta mientras que en el orgánico los puntos con mayor cantidad de esporas son el punto seis y el siete.

Flores (1988), menciona que el P inhibe la colonización de las MA, por lo cual se podría decir que la cantidad de esporas son reducidas por este factor ya que

el sistema orgánico contiene una mayor cantidad de este elemento lo cual disminuyó la micorrización para este y los demás géneros.

Género Gigaspora.

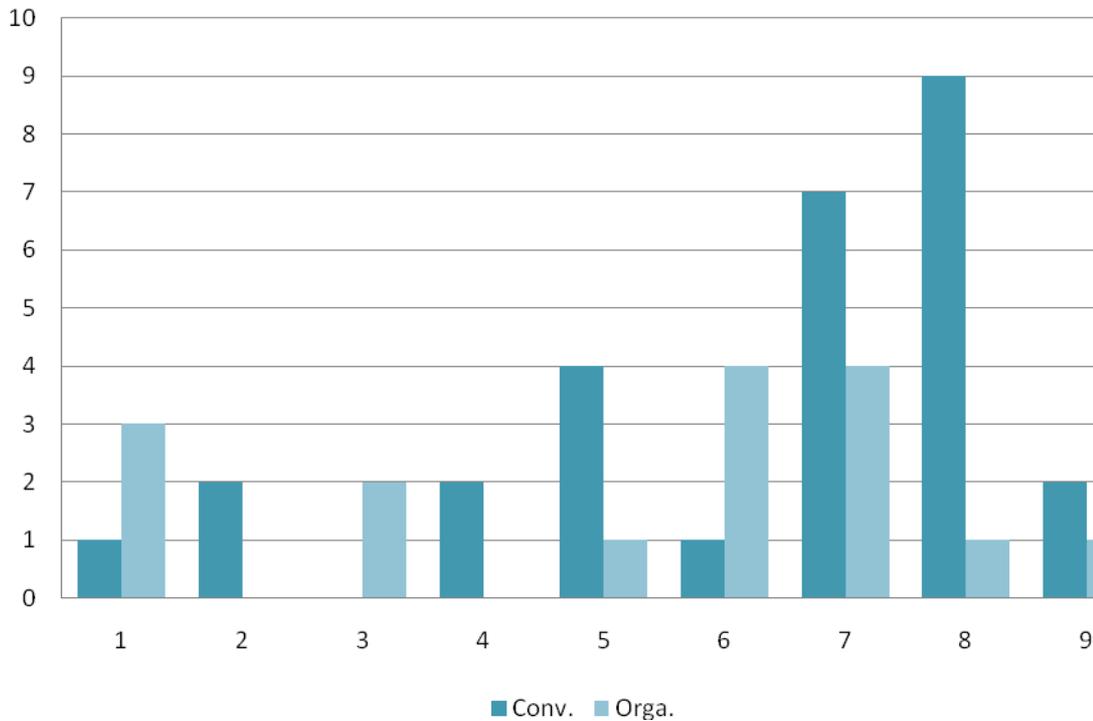


Figura 25.- Género *Gigaspora* en ambos sistemas que producción.

4.2.3.4 Género Entrophospora.

Las esporas de este género fueron encontradas en cantidades mínimas, pero con mayor distribución para el orgánico, la Figura 26 muestra que el punto dos se concentran mayor cantidad de esporas para la variación convencional.

Género Entrophospora.

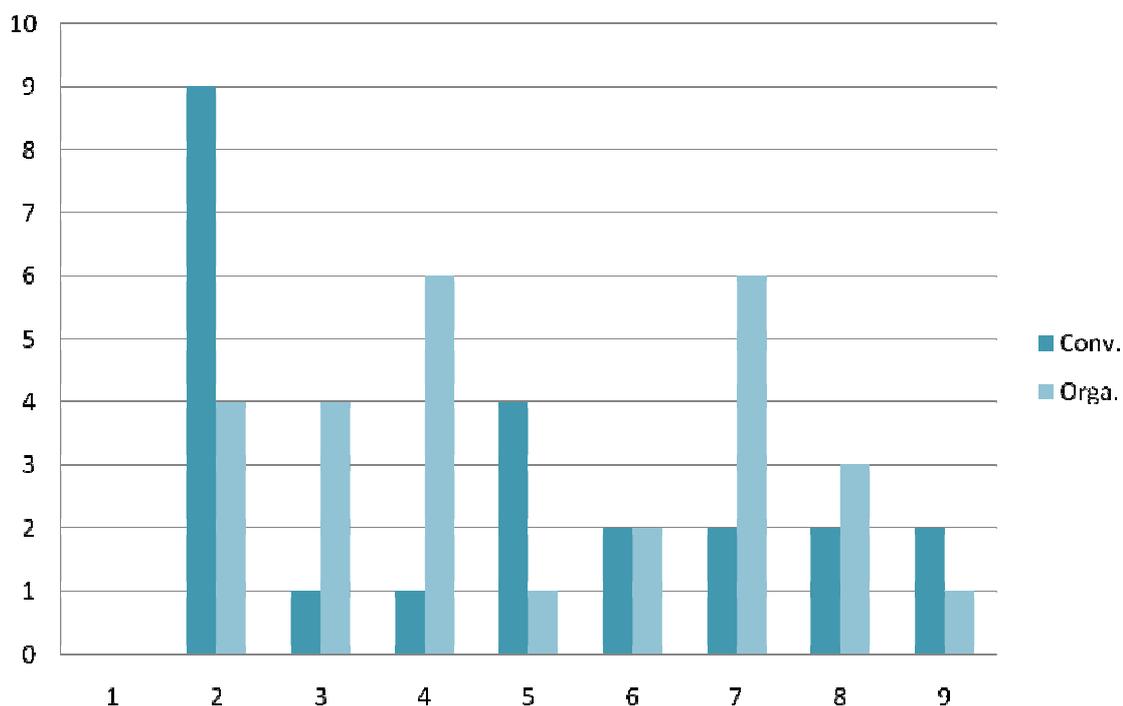


Figura 26.- Número encontrado de esporas en los diferentes puntos. No se encontró investigaciones que se refieran con este género, por lo cual es remota la información acerca de este género.

4.2.3.5 Género Scutellospora.

Este género se presentó en cantidades pequeñas, no obstante, existe diferencia estadísticamente significativa, para el caso del sistema orgánico fue el tratamiento donde se registraron los valores más bajos. En la Figura 27 se muestra el número de esporas encontradas por muestreo. Aguilera y colaboradores (2008) (14), mencionan que en un experimento similar con *Trifolium subterraneum* R), la colonización de la raíz por *Scutellospora calospora* se redujo con la aplicación de fósforo a una parte de la raíz, ya que esta parte del sistema radical estuvo en contacto con esporas e hifas del hongo observaron que la formación de micorrizas fue mínima. El Cuadro 4 muestra los

niveles de nutrientes presentes en los suelos para ambos sistemas productivos, para el caso del fósforo se puede apreciar mayor cantidad en el sistema orgánico con respecto al sistema convencional, en ese sentido, existe similitud en los reportes para S calospora de acuerdo a Aguilera y colaboradores, la presencia de este elemento interfiere en la colonización del género *Scutellospora*.

Género *Scutellospora*.

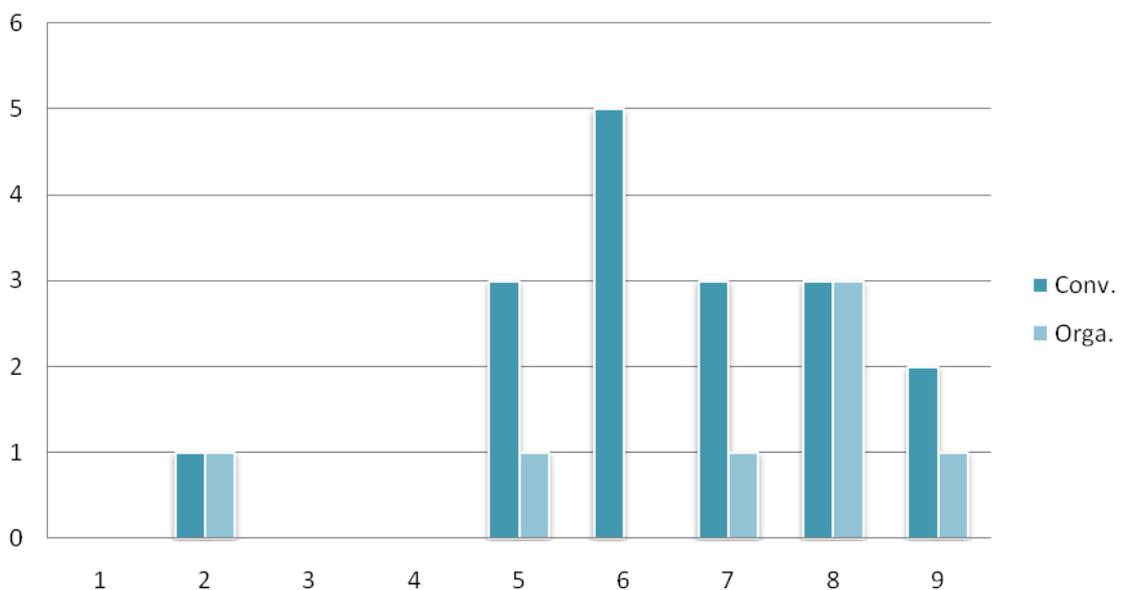


Figura 27.- Esporas de *Scutellospora* encontradas en las parcelas de maíz convencional y orgánico.

4.2.3.6 Género *Archaeospora*.

La variación de *Archaeospora* en el análisis estadístico, presento diferencia significativa entre parcelas, ya que el sistema de producción convencional obtuvo mayor presencia de género, Maldonado y colaboradores (2008), en su

trabajo de investigación encontraron este género *Archeospora*, en el cultivo de la palma de aceite, en Ecuador (59), ya que es uno de los géneros con poco estudio por lo cual no hay tanta información de este género. Es muy específico, no en cualquier condición se desarrolla. Lo que hace coincidir en este trabajo, ya que se encontraron en cantidades muy pequeñas Figura 28.

Archeospora.

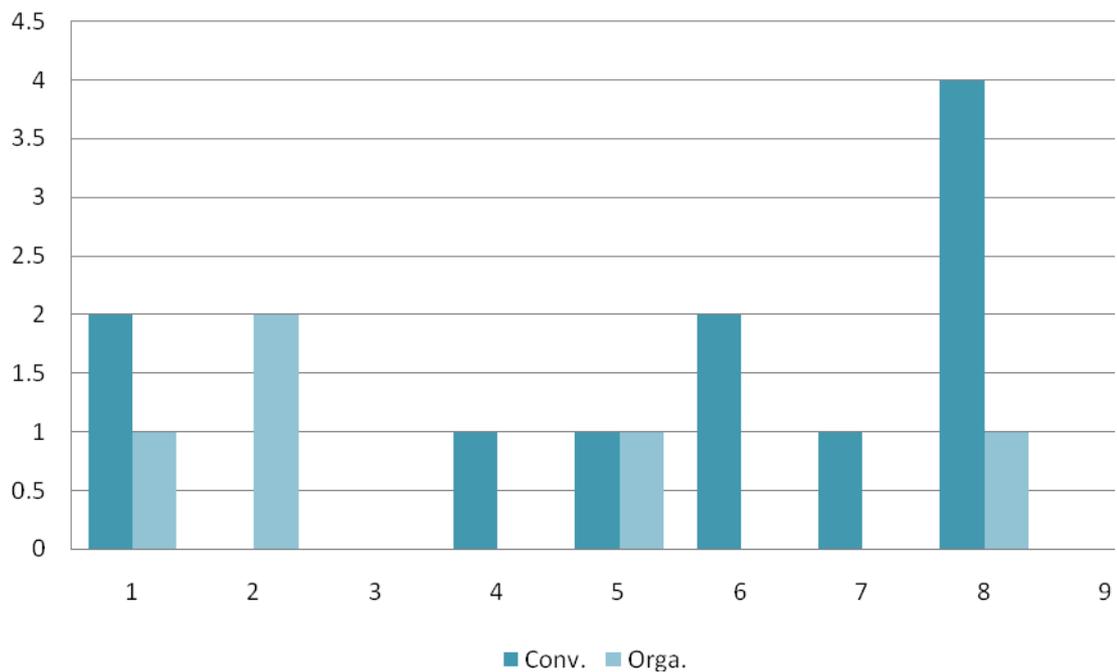


Figura 28.- Géneros *Archeospora* con cuatro esporas como máximo y una como mínimo.

4.2.3.7 Género *Sclerocystis*.

En la Figura 29 se muestra la variación *Sclerocystis*, como ya se ha mencionado antes, fue encontrado solo en el suelo de maíz convencional, en mínimas cantidades, aún menores que las del género *Archeospora*. En el cultivo de maíz orgánico se encontró este género pero no es significativo.

López Zepeda (1998) menciona que el género *Sclerocystis* solo se encuentra en suelos tropicales húmedos o en lugares húmedos de invierno. Por lo que se podría decir que el cultivo fue establecido en verano y con una humedad constante lo que hizo detectar la presencia de este género en mínimas cantidades.

Sclerocystis.

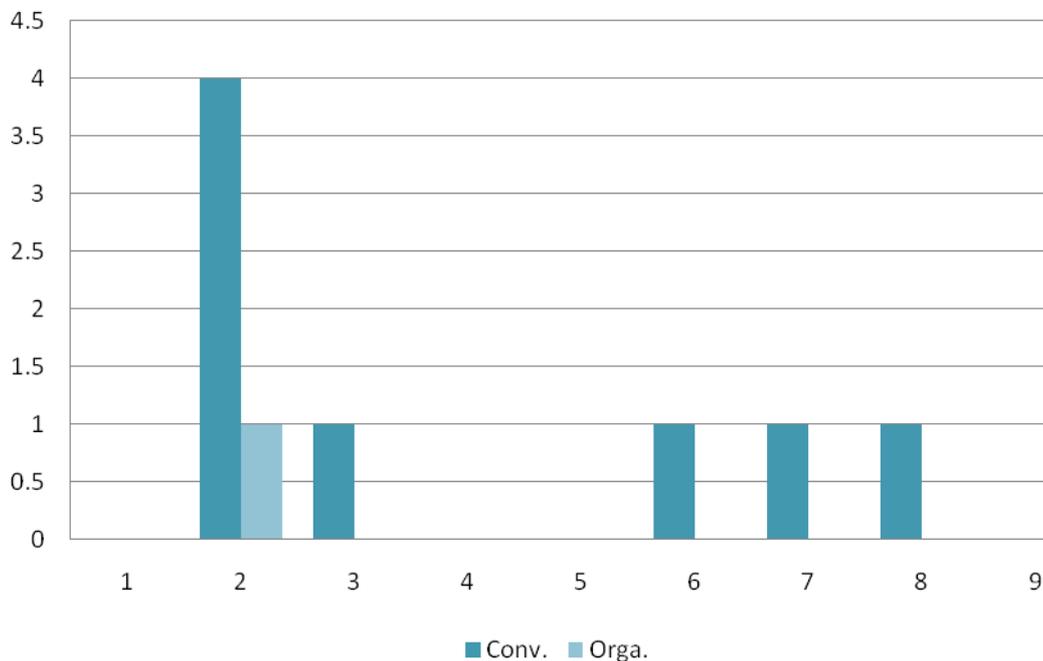


Figura 29.- Género de *Sclerocystis* en el cultivo de maíz convencional y orgánico

4.3 Relación entre la Micorriza Arbuscular (MA) y las características físicas y químicas del suelo.

Los resultados del Cuadro 4 permiten observar que los sistemas de producción orgánico y convencional presentan diferencia entre los factores físico-químicos del suelo, los cuales intervienen en la colonización de MA (60). Flores (1988) menciona que altos niveles de P y N en el suelo, están asociados con una baja

colonización de las MA. En ese sentido, el sistema que mayor cantidad de P presentó fue el orgánico por lo tanto el presente trabajo concuerda con tal aseveración, ya que se encontró con menor diversidad de esporas en dicho sistema productivo.

Cuadro 4.- Valores promedios de las características físico-químicas del suelo en los sistemas de producción de maíz orgánico y convencional

| Parámetros | Orgánico. | Convencional. |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| Textura | Franco arcilloso | Franco arcilloso limoso |
| pH | 8.15 | 8.17 |
| C. E. dS/cm ⁻¹ | 1.18 | 2.43 |
| D. A. g/cm ³ | 1.11 | 1.11 |
| Materia Orgánica | 1.6 | 1.4 |
| C.I.C mg/Kg ⁻¹ | 6 | 11 |
| Nitrógeno % | 0.08 | 0.07 |
| Fósforo mg/Kg ⁻¹ | 44.08 | 18.54 |
| Potasio mg/L ⁻¹ | 0.6 | 0.33 |
| Calcio mg/L ⁻¹ | 9.48 | 21 |
| Magnesio mg/L ⁻¹ | 1.15 | 2.39 |
| Sodio mg/L ⁻¹ | 1.35 | 0.9 |
| Cobre mg/Kg ⁻¹ | 3.75 | 3.72 |
| Fierro mg/Kg ⁻¹ | 15.84 | 15.05 |
| Zinc m/kg ⁻¹ | 2.82 | 2.9 |
| Manganeso mg/K ¹ | 7.11 | 6.96 |

Tapia-Goné y colaboradores (2008) (57) mencionan que la germinación de esporas y el desarrollo de hifas de MA están reducidas por la presencia de las sales en los suelos. En relación a lo cual cabe mencionar que en los sistemas de producción analizados, no hubo mucha diferencia en el número de esporas, pero si resalta que el sistema convencional se encontró el mayor número de

esporas de MA. Mientras Guerra (2008) (2) especifica que las diferentes especies de MA muestran distintos grados de resistencia a la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios, Bolaños y colaboradores (2000) (48) añade que el P y la fertilidad del suelo, inciden también sobre la población de estos microorganismos.

V.- CONCLUSIONES.

Las gramíneas han sido uno de los grupos más estudiados como plantas trampa por su capacidad de asociarse con las MA. El objetivo de este trabajo se cumplió encontrando diversidad de géneros de MA en maíz convencional y orgánico. La parcela del maíz convencional fue la que presentó mayor cantidad de géneros de esporas con respecto a la parcela orgánica. Algunas condiciones químicas y físicas favorecieron una buena micorrización en el suelo, lo que hizo que el sistema convencional fuera el mejor. Se encontraron esporas de MA correspondientes a los géneros *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Scutellospora*, *Archeospora*, y *Sclerocystis*. Los géneros más predominantes fueron el género *Glomus* (45%), *Acaulospora* (29%), *Gigaspora* (7%) y *Entrophospora* (8%).

Este estudio nos permite resaltar y demostrar la importancia de las micorrizas, ya que su uso tiene varios resultados positivos entre ellos una menor necesidad de fertilización química, un mayor desarrollo de arbusculos y disminución de costos. Lo que además aumenta la posibilidad de mejorar la productividad a un periodo de mediano y largo plazo. En base a los estudios estadísticos de parcelas apareadas para las poblaciones micorrícicas, se puede establecer que hubo una diferencia en ambos sistemas de productivos, el cultivo de maíz convencional presentó un género más, que fue el *Sclerocystis*, por lo que la hipótesis se rechaza.

La cantidad en número de esporas fue en el sistema productivo convencional, mientras que el sistema de producción orgánico fue menor. Aunque en el

sistema de producción orgánica las esporas se encuentran con una mejor distribución, esto quiere decir que para que haya mejor distribución de esporas, tiene que haber mejores condiciones físico-químicas del suelo.

Sin embargo la utilización de estos microorganismos como biofertilizantes hace que las condiciones del suelo mejoren y así obtener mayores resultados de producción, aunque la utilización de estos, como biofertilizantes no implica que se deje de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la aplicación desde un 50-80% hasta un 100%, incrementan el rendimiento de los cultivos a un bajo costo, para ambos sistemas de producción (orgánico y convencional).

Es recomendable darle seguimiento a este trabajo ya que los resultados no mostraron tanta significancia, la presencia de un género más puede indicar la diferencia.

Datos recientes mencionan (Arreola 2010) que el sistema de producción orgánica tiene un periodo de tres años cultivándose de esta manera lo cual se sugiere dejar recorrer hasta que cumpla cinco años y así volver hacer estudios para verificar si aumento la diversidad de esporas existentes en este tipo de suelo.

VI.- LITERATURA CITADA.

1. Potocnik J. La biodiversidad del suelo – la fábrica de la vida. Comisario Europeo para el Medio Ambiente. 2010;1:1-4.
2. Guerra S, B. E. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha. 2008;21(1):191-20.
3. Vargas R. Micorrizas Vesiculo - Arbusculares aisladas del bosque nuboso, Monteverde, Costa Rica. Agronomía Costarricense. 1990;14(1):85-8.
4. Robles C, Barea JM. Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus* intraradices y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo. TERRA Latinoamericana. 2004;22(1):59-69.
5. Arreola C, F. A. Evaluación del porcentaje de micorrizas Vesiculo Arbusculares (MVA) en el cultivo de Maíz (*Zea mays L.*) alternativo y convencional. Torreon, Coahuila.: Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna.; 2010.
6. Aguirre-Medina J, F, Irizar-Garza M, B, Durán-Prado A, Grajeda-Cabrera O, A, Peña- del Río M, A, Loredó-osti C, et al. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2009:1-86.
7. de la Peña E. Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. Ecología y Manejo Ambiental. 2009;18(2):64-78.
8. Vargas R. MICORRIZAS VESICULO-ARBUSCULARES AISLADAS DEL BOSQUE NUBOSO, MONTEVERDE, COSTA RICA. Agronomía Costarricense. 1990;14(1):85-8.
9. Urcelay C, Tecco PA, Chiarini F. Micorrizas arbusculares del tipo "Arum" y "Paris" y endófitos radicales septados oscuros en *Tibouchina paratropica* (Melastomataceae). Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal y FCEFyN, Universidad Nacional de Córdoba - CONICET. 2005;40(3-4):151-5.
10. Ochoa-Meza A, Esqueda M, Fernandez- Valle R, Herrera-Peraza R. Variación estacional de hongos micorrizicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. En la sierra Sonarense, México. Fitotecnia Mexicana. 2009;32(3):189-99.
11. Lovera M, Cuenca G. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de La Gran Sabana, Venezuela. INJERCIENCIA. 2007;32(2):108-07.
12. Barcenás A, Almaraz C, Reyes L, Varela L, Lara B, Guillén A, et al. Diversidad de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en Huertos de Aguante de Michoacán. Viña Del Mar, Chile. 2007;24:7.
13. Prager S, M., Castillo N, M., Zabala V, F., Sánchez Á, D, I., Vargas N. La Micorriza Arbuscular (MA) como Componente de Estabilidad en los Agroecosistemas. Rev Bras De Agroecología. 2009;4(2):4324-7.
14. Aguilera G, L. I, Olalde P, V, Arriaga M, R, Contreras A, R. Micorrizas Arbusculares. Ciencia Ergo Sum. 2008;14(003):300-6.
15. Popoff O. Reino Fungi: Micorrizas. Republica Argentina 2008.

16. Bonfante - Fasolo. P, editor. Anatomy and morphology of VA micorrhizae. In: VA Mycorrhiza. Powell, C. E. & D. J. Bagyaraj (eds.). CRC Press, Boca Ratón. 1984.
17. Walker C. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) a possible way forward. *Agronomie*. 1992;12:887-97.
18. Paszkowski U, Jakovleva L, Boller T. Maize mutants affected at distinct stages of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant J*. 2006 Jul;47(2):165-73.
19. Atul-Nayyar A, Hamel C, Hanson K, Germida J. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. *Mycorrhiza*. 2009 Apr;19(4):239-46.
20. Harrison MJ. Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 1999;50:361-890.
21. Gadkar V, David-Schwartz R, Kunik T, Kapulnik Y. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant Physiol*. 2001 Dec;127(4):1493-9.
22. Balestrini R, Lanfranco L. Fungal and plant gene expression in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2006 Nov;16(8):509-24.
23. Hause B, Fester T. Molecular and cell biology of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Planta*. 2005 May;221(2):184-96.
24. Dickson S, Smith FA, Smith SE. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? *Mycorrhiza*. 2007 Jul;17(5):375-93.
25. Schultz CJ, Harrison MJ. Novel plant and fungal AGP-like proteins in the *Medicago truncatula*-*Glomus intraradices* arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2008 Oct;18(8):403-12.
26. Corvetto C. "La cero labranza permanente y disponibilidad de nutrientes para las plantas". 2000:1-50.
27. Salamanca S, C. R., Cano S, C. A. Efecto de las micorrizas y el sustrato en el crecimiento vegetativo y nutrición de cuatro especies frutales y una forestal, en la face de vivero, en el municipio de restrepo-meta, colombia. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*. 2005;2:8.
28. Guerrero F, E. Micorrizas. *Recursos Biológicos del suelo*. 1996:1-54.
29. Hermart C, Ilabaca C, Jerez G, Sandoval P, Ulloa A. Aspectos generales de las micorrizas. 2009.
30. Martínez LB, Pugnaire FI. Interacción entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*. 2009;2:44-54.
31. Blanco F, A., Salas E, A. Micorrizas en la Agricultura: Contexto mundial e Investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 1997;21(1):55-67.
32. Kugler M. Micorrizas: abono con hongos. *Interciencia*. 1986;8:5-6.
33. Nogales AM. Estudio e la interacción entre el hongo formador de micorrizas arbusculares *Glomus intraradices* Schenck y Smith y el hongo patógeno *Armillaria mellea* (Vahl: fr) P. Kuhn en vid *interciencia*. 2008;24:1-56.
34. Roveda G, Polo C. Mecanismos de adaptación de maíz asociados a *Glomuc spp.* en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana*. 2007:249-356.

35. Ferraris GN. Inoculación con microorganismos con efecto promotor de crecimiento (PGPM) en trigo. Conocimientos actuales y experiencias realizadas en la región pampeana argentina. 2008:1-8.
36. Aguirre-Medina JF, Cano-García MA. Uso de micorrizas como biofertilizantes en maíz. AGROproduce. 2008:2-36.
37. Cuenca G, Cáceres A, Oirdobro G, Hasmy Z, Urdaneta C. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. Interciencia. 2006;32:23-9.
38. Herrer-Peraza R, A., Cuenca G, Walker C. *Scutellospora crenulata*, a new species of Glomales from La Gran Sabana, Venezuela. Canadian Journal of Botany. 2001;79:674-8.
39. Jeffries P, Barea JM. Arbuscular mycorrhiza key component of sustainable plant soil ecosystems. 2001:95-113.
40. Salamanca C, R, Silvia M, R. Las micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los agroecosistemas tropicales. Corpoica. 1998;15:1-27.
41. Azcón AC, Barea JM. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. Mycorrhiza. 1992;6:163-98.
42. Javot H, Pumplin N, Harrison M, J. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. Plant. 2007;30:310-22.
43. Uehlein N, Fileschi K, Eckert M, Bienert GP, Bertl A, Kaldenhoff R. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and plant aquaporin expression. Phytochemistry. 2007 Jan;68(1):122-9.
44. Montaña NM, Camargo-Ricaldes SL, García-Sánchez R, Monroy A. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems). Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV. 2007;17:1-62.
45. Sierverding E. Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Plant Physiology. 1991;13:220-350.
46. Barrera B, S. E. El uso de Hongos Micorrizicos Arbusculares como una alternativa para la Agricultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2009;7(1):123-32.
47. Sosa R, T., Sánchez N, J., Morales G, E., Cruz C, F. Interacción micorrizas arbusculares *Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efecto sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). Acta Biológica Colombiana. 2006;11(1):43-54.
48. Bolaños-B M, M., Rivillas-Osorio C, A., Suárez-Vásquez S. Identificación de Micorrizas Arbusculares en suelos de la Zona Cafetera Colombiana. Cenicafé. 2000;51(4):245-62.
49. INIFAP. MICORRIZA. Biofertilizante para la Agricultura Mejor nutrición Mayor crecimiento de raíz. 2004.
50. CONAGUA. Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte (OCCCN). 2010.
51. Flores B, M. R. Caracterización de la Micorriza Vesículo- Arbuscular en Limón *Citrus aurantifolia* Swin., en cinco Agroecosistemas en el Estado de Colima. Colima: Universidad de Colima.; 1988.

52. López Z, G. A. Hongos Micorrizicos Vesículo arbusculares (VA) en fragmentos de matorral *Sensu lato* de los municipios de Linares y Hualahuises, Nuevo León. LINARES, NUEVO LEON.: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEON.; 1998.
53. Peña-Venega C, P., Cardona V, G. M., Mazorra V, A., Arguellez C, J. H., Arcos D, A.L. Micorrizas arbusculares de la amazonia colombiana. Catalogo Ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. 2006:90.
54. Gerdemann JW. Vesicular- Arbuscular Mycorrhiza and Plant Growth. Annu Rev Phytopathol. 2002;6:397-418.
55. INVAM. International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. <http://invamcafwwuedu/>. 2000.
56. Muñoz-Márquez E, Macías-López C, Franco-Ramírez A, Sánchez-Chávez E, Jiménez-Castro J, González-García J. Identificación y colonización natural e hongos Micorrizicos Arbusculares en Nogal. TERRA LATINOAMERICANA. 2009;27:355-61.
57. Tapia-Goné J, Ferrera-Cerrato R, Varela-Fregoso V, Rodríguez O, J. C., Lara M J, Soria C, J. C., et al. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. REVISTA MEXICANA DE MICOLOGÍA. 2008;26:1-7.
58. Manjares-Martínez MJ, Ferrera. C R, González CM, C. Efecto de la vermiconposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. TERRA LATINOAMERICANA. 1999;17(001):9-15.
59. Maldonado L, Morales R, Bernal G, Alcocer I. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrizicas en el material germoplasmico de palma aceitera en Ecuador. Sociedad ecuatoriana de la ciencia del suelo. 2008:1-9.
60. Serralde AM, Ramírez MM. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivo en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. Revista corpoica. 2004;5:31-40.
61. Consejo E. Reglamentos sobre Producción , Etiquetado y su control de los productos ecológicos. Diario Oficial de la Unión Europea. 2007-2008.

ANEXOS.

Anexos 1.- Preparación de la sacarosa al 45%.

- 1 l de agua.
- 45 g de azúcar.
- Un vaso de precipitado de 1 l
- Un agitador

Preparación: en 1 l de agua se le agrega los 45 g de azúcar y se colocó en una placa caliente, agitando con un agitador de cristal hasta que el azúcar se disolviera completamente.

Anexo 2.- Formula de comparación de t_0 (t de tablas) para cada uno de los géneros.

| Género <i>Glomus</i> . | | | | |
|------------------------|--------------|----------|-----|-----------------|
| n | Convencional | Orgánico | dj | dj ² |
| 1 | 7 | 9 | -3 | 9 |
| 2 | 26 | 34 | -8 | 64 |
| 3 | 16 | 11 | 5 | 25 |
| 4 | 8 | 24 | -16 | 256 |
| 5 | 9 | 15 | -6 | 36 |
| 6 | 17 | 8 | 9 | 81 |
| 7 | 10 | 20 | -10 | 100 |
| 8 | 38 | 15 | 23 | 529 |
| 9 | 18 | 7 | 11 | 121 |
| Σ total = | 149 | 143 | 5 | 1221 |

to= 0.135061163

Sd= 12.34008824

d= 0.555555556

n= 9

$$sd = \frac{\sqrt{\sum(dj^2) - \frac{1}{n} \sum(dj)^2}}{n - 1}$$

$$Sd = \frac{[\sum(dj^2) - 1/n (\sum dj)^2]^{1/2}}{n - 1} \quad Sd = \sqrt{152.28125}$$

$$Sd = \frac{[(1221) - 0.11(5)^2]^{1/2}}{9-1} \quad Sd = 12.34008824$$

$$Sd = \frac{[(1221) - 0.11 (25)]^{1/2}}{8}$$

$$Sd = \frac{[(1221 - 2.75)]^{1/2}}{8}$$

$$Sd = \frac{[1218.25]^{1/2}}{8}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-1} (dj)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{9} (5)$$

$$\bar{d} = (0.11111111) (5)$$

$$\bar{d} = 0.55555556$$

$$t_o = \frac{\bar{d}}{sd/\sqrt{n}}$$

$$t_o = \frac{0.55555556}{(12.34008824)/\sqrt{9}}$$

$$t_o = \frac{0.55555556}{12.34008824/3}$$

$$t_o = \frac{0.55555556}{4.113362747}$$

| Género <i>Gigaspora</i> | | | | |
|-------------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| n | Convencional | Orgánico | dj | Dj ² |
| 1 | 1 | 3 | -2 | 4 |
| 2 | 2 | 0 | 2 | 4 |
| 3 | 0 | 2 | -2 | 4 |
| 4 | 2 | 0 | 2 | 4 |
| 5 | 4 | 1 | 3 | 9 |
| 6 | 1 | 4 | -3 | 9 |
| 7 | 7 | 4 | 3 | 9 |
| 8 | 9 | 1 | 8 | 64 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Σ total = | 28 | 16 | 12 | 108 |

to= 1.179535649
 Sd= 3.391164992
 d= 1.333333333
 n= 9

| Genero <i>Scutellospora.</i> | | | | |
|------------------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| n | Convencional | Orgánico | dj | dj ² |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 6 | 5 | 0 | 5 | 25 |
| 7 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 8 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Σ total = | 17 | 7 | 10 | 34 |

to= 1.970658556
 Sd= 1.691481928
 d= 1.111111111
 n= 9

| Género <i>Acaulospora</i> . | | | | |
|-----------------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| n | Convencional | Orgánico | dj | Dj ² |
| 1 | 3 | 4 | -1 | 1 |
| 2 | 26 | 17 | 9 | 81 |
| 3 | 6 | 11 | -5 | 25 |
| 4 | 6 | 14 | -8 | 64 |
| 5 | 5 | 8 | -3 | 9 |
| 6 | 11 | 6 | 5 | 25 |
| 7 | 12 | 11 | 1 | 1 |
| 8 | 15 | 6 | 11 | 121 |
| 9 | 10 | 3 | 8 | 64 |
| Σ total = | 94 | 80 | 17 | 391 |

to= 0.846043423
 Sd= 6.697843766
 d= 1.888888889
 n= 9

| Género <i>Entrophospora</i> | | | | |
|-----------------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| n | Convencional | Orgánico | dj | Dj ² |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 9 | 4 | 5 | 25 |
| 3 | 1 | 4 | 3 | 9 |
| 4 | 1 | 6 | -5 | 25 |
| 5 | 4 | 1 | 3 | 9 |
| 6 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 7 | 2 | 6 | -4 | 16 |
| 8 | 2 | 3 | -1 | 1 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Σ total = | 23 | 27 | 2 | 86 |

to= 0.203858877
 Sd= 3.270236145
 d= 0.222222222

n= 9

Género Sclerocystis

| n | Convencional | Orgánico | dj | Dj ² |
|------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 1 | 3 | 9 |
| 3 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ total = | 8 | 1 | 7 | 13 |

to= 2.400980192
Sd= 0.971825316
d= 0.777777778
n= 9

Género Archeospora.

| n | Convencional | Orgánico | dj | dj ² |
|------------------|--------------|----------|----|-----------------|
| 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 2 | -2 | 4 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | 2 | 0 | 2 | 4 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 4 | 1 | 3 | 9 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ total = | 11 | 5 | 6 | 20 |

to= 1.414213562
Sd= 1.414213562
d= 0.666666667
n= 9

Anexo 3.- Labores Culturales.

- Barbecho.
- Rastreo.
- Nivelación.
- Siembra.
- Bordeo.
- Fertilización.
- Riego (1 aniego, 3 de auxilio)
- Cosecha.

A.3.1 Genotipo.

Se utilizo el híbrido AN 423, la cual ha demostrado alto rendimiento, calidad y tolerancia a plagas, enfermedades y algunas condiciones de sequía.

A.3.2 Densidad de siembra.

Se realizo a una densidad de siembra de 88,888 plantas/ ha.

A.3.3 Control de plagas y enfermedades:

Se utiliza productos autorizados por la norma oficial (aceites, parafinas, trampas, etc.) para la producción de productos orgánicos.

A.3.3.1 Artículo 5. Gestión de plagas, Enfermedades y malas hierbas. (Diario Oficial de la Unión Europea).

Cuando las plantas no puedan protegerse adecuadamente de las plagas y enfermedades mediante las medidas contempladas en el artículo 12, apartado 1, letras a), b), c) y g) del reglamento (CE) nº 834/2007, solo se podrán utilizarse en la producción ecológica los productos mencionados en el **anexo II**

del presente reglamento. Los operadores deberán guardar los documentos que justifiquen la necesidad de la utilización del producto (61).

A.3.3.2 Artículo 12.- Normas de producción vegetal. (Reglamento (CE) nº 834/2007)

Apartado 1.- además de las normas ya establecidas, para la producción vegetal ecológica estará sometida a las siguientes normas:

- a) La producción ecológica recurrirá a las prácticas de labranza y cultivo que mantengan o incrementen la materia orgánica del suelo, refuercen la estabilidad y la biodiversidad edáfica, y prevengan la compactación y la erosión del suelo;
- b) La fertilidad y la actividad del suelo deberán ser mantenidas o incrementadas mediante la rotación plurianual de cultivos que comprenda las leguminosas y otros cultivos de abonos verdes y la aplicación de estiércol de animal o material orgánica, ambos de preferencia compostados, de producción ecológica.
- c) Están permitidos el uso de productos biodinámicos.
- g) la prevención de daños causados por plagas, enfermedades y malas hierbas se basará fundamentalmente en la protección de enemigos naturales, la elección de especies y variedades, la rotación de cultivos, las técnicas de cultivo y los procesos técnicos (61).a

A.3.4 Tratamientos.

Resultan 2 tratamientos a evaluar en el presente estudio y se realizaron 4 repeticiones en cada uno, obteniendo unidades experimentales.

A.3.5 Distribución de los tratamientos.

La distribución de cada parcela fue de 12 surcos a una distancia de 75 cm x 5m de largo, dando un resultado 55m^2 con 1m de separación entre unidades experimentales, dando un resultado de 1309m^2 .