



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**INOCULACIÓN CON MICORRIZAS ARBUSCULARES COMO
ALTERNATIVA EN EL CULTIVO DE *Sorghum bicolor* L. EN
CUAUTLA, MORELOS**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGA
PRESENTA:
CASTRO CAMAÑO ELIZABETH

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL

FES Zaragoza, UNAM



México D. F.

Agosto 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi pequeño Sebastián que es la luz de mi vida, quien me ha enseñado a ser fuerte y darme ánimo para salir adelante, crecer, ser una mejor persona y madre.

A mi familia por estar en cada momento en mi vida y que a pesar de los momentos difíciles que se han logrado dejar atrás, siempre estaremos juntos apoyándonos.

A mi madre por confiar en mí y brindarme en cada paso de mi vida su completo apoyo, por enseñarme que siempre tengo que creer en mí y que soy capaz de lograr todo lo que me proponga.

A mi hermana por apoyarme siempre a pesar de las diferentes formas de pensar y por escucharme siempre. Te amo nenita.

A Alfredo por creer y apoyarme siempre, por amarme de forma incondicional y única. ..Y por darme esta alegría inmensa de ser madre.

A todos aquellos Amigos, que como alguna vez me dijeron “Son la familia que uno escoge” y que fungieron ese papel mientras estuve lejos de mi hogar. Gracias por hacerme sentir que en ustedes tengo apoyo incondicional cada momento y por hacerme sentir que jamás estaré sola. A todos, que gracias a dios no puedo contar con los dedos de mi manos.

A mi maestra Chuy, que más que profesora fue una segunda mamá para mí. Gracias por creer y apoyarme en cada paso de esta investigación y en parte de mi vida. Le estaré eternamente agradecida, gracias por compartir momentos de esa alegría y fortaleza que solo usted irradiaba!

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Armando Cervantes, por instruirme y apoyarme para lograr el término de esta investigación y sobre todo por ese aliento que todo saldrá bien que lo caracteriza. Por compartir conocimientos no solo académicos sino de la vida misma. Siempre se lo agradeceré profe!!

A mis compañeros y amigos en laboratorio por ser parte de esta investigación que fue un trabajo en conjunto para realizar la cosecha y siembra a pleno rayo de sol.

A cada uno de los profesores por instruirme a lo largo de la carrera, especialmente a los profesores...

Elvia García Santos ya que con sus conocimientos compartidos logro iniciar y desarrollar mi profundo interés hacia la edafología.

Gerardo Cruz Flores por cada conocimiento compartido y haber contribuido de manera importante a mi formación académica. Sobre todo por ser una persona con una gran calidez humana, gracias por todo profesor!

Al Jurado: Dr. Arcadio Monroy Ata ya la Dr. Rosalba García Sánchez por el apoyo, comprensión y enriquecer el contenido de este trabajo.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. RIZÓSFERA	4
2.1.1. Características	4
2.1.1. Efectos de la rizósfera sobre los microorganismos	5
3.2. SIMBIOSIS MICORRIZICA	5
3.2.1. Micorrizas	5
3.2.2. Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)	6
Generalidades	6
Distribución ecológica	8
Importancia	9
3.3. SORGO	10
3.3.1. Antecedentes históricos	10
3.3.2. Características generales	11
3.3.3. Exigencias del cultivo	13
3.3.4. Utilización e importancia económica	15
a) Internacional	15
b) Nacional	17
c) Estatal	19
3.4. FERTILIZACION Y MANEJO DE SUELOS	20
4. JUSTIFICACIÓN	22
5. HIPÓTESIS	23
6. OBJETIVOS	24
7. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
7.1. Localización	25
7.2. Suelo	25
7.3. Clima	26

7.4.	Cuencas hidrologías	26
7.5.	Vegetación	26
8.	MATERIALES Y MÉTODO	27
8.1.	Campo	27
8.1.1.	Toma de muestras de suelo	27
8.1.2.	Diseño experimental	27
8.1.3.	Producción del inóculo de HMA	28
8.1.4.	Siembra y Fertilización química	29
8.1.5.	Muestreo de plantas	30
8.2.	Laboratorio	31
8.2.1.	Análisis físicos y químicos del suelo	31
8.2.2.	Análisis químico en tejido vegetal	32
8.2.3.	Evaluación número de esporas	33
8.2.4.	Evaluación de colonización HMA	33
8.2.5.	Evaluación rendimiento y crecimiento del sorgo	35
8.3.	Análisis estadístico	37
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
9.1.	Propiedades físicas y químicas del suelo	38
9.2.	Altura de plantas de sorgo	39
9.3.	Colonización micorrízica	40
9.4.	Variables agronómicas	42
9.5.	Componentes de rendimiento	45
9.6.	Análisis químico en tejido vegetal	48
10.	CONCLUSIONES	50
11.	LITERATURA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arbúsculo y vesículas de HMA en raíces (Peterson <i>et al.</i>, 2004).	7
Figura 2. Tipos de asociación micorrízica arbuscular. a) Tipo Arum, b) Tipo Paris. Se aprecian vesículas (v); el apresorio (A); hifas (flechas) y arbúsculos (dos cabezas de flechas) (Peterson <i>et al.</i>, 2004).	7
Figura 3. Áreas de aplicación de los HMA (Guerrero, 1996).	9
Figura 4. Planta de <i>Sorghum bicolor</i> L. (Tomado Nar, 2008).	12
Figura 5. Ubicación de zona de estudio (Cuautla, Morelos).	25
Figura 6. Establecimiento de parcelas de cultivo para cada tratamiento.	28
Figura 7. Inoculo de HMA a) semilla de sorgo, b) inoculo <i>Rhizophagus intraradices</i>, c) inoculo nativo.	28
Figura 8. Siembra de sorgo con a) Labranza moderna (tratamiento F), b) Manual (tratamientos con HMA).	29
Figura 9. Actividades realizadas en la agricultura convencional, a) primera fumigación, b) segunda fertilización, c) segunda fumigación.	29
Figura 10. Siembra de semilla de sorgo e inoculación con HMA.	30
Figura 11. Muestreo de plantas de sorgo a) tres meses después de la siembra, b) cosecha.	30
Figura 12. Cosecha de cultivo de sorgo a) mecánica, b) manual.	31
Figura 13. Determinación de a) nitrógeno total, b) materia orgánica.	32
Figura 14. Análisis químico de tejido foliar a) Digestión para determinación de nitrógeno total, b) Determinación de fósforo foliar.	32
Figura 15. Técnica tamizado húmedo y decantación, según Gerdemann y Nicolson (1963).	33
Figura 16. Clareo y tinción de raíces, según Phillips y Hayman (1970).	34
Figura 17. Medición de altura en sorgo durante el desarrollo del cultivo.	35

Figura 18. Mediciones realizadas para determinación de características agronómicas.	35
Figura.19. Obtención de mediciones para rendimiento de cultivo.	36
Figura 20. Comportamiento de alturas en plantas de <i>Sorghum bicolor</i> entre tratamientos durante su crecimiento. Micorriza nativa (Nt), <i>Rhizophagus intraradices</i> (Ri), Nt+lombricomposta (Nt+L), Ri+lombricomposta (Ri+L), Nt+ ½ concentración fertilizante químico (Nt+F), Ri+ ½ concentración fertilizante químico (Ri+F), Testigo 100% fertilizante (F).	39
Figura 21. Porcentaje de colonización por vesículas, hifas y total en plantas recolectadas de <i>Sorghum bicolor</i> L. durante la cosecha.	41
Figura 22. Estructuras fúngicas de hongos micorrizógenos arbusculares observados en raíces de <i>Sorghum bicolor</i> L., (a) vesículas, (b) arbusculos e (c y d) hifas.	41
Figura 23. Número de esporas en 100 g de suelo en rizósfera de plantas recolectadas de <i>Sorghum bicolor</i> L. a 30 días después de la siembra.	42
Figura 24. Número total de panojas de <i>Sorghum bicolor</i> L. en los diferentes tratamientos.	46
Figura 25. Peso total de panojas de plantas de <i>Sorghum bicolor</i> L. cosechadas para los distintos tratamientos.	46
Figura 26. Rendimiento de grano, ton ha⁻¹ en cultivo de <i>Sorghum bicolor</i> L. bajo los distintos tratamientos.	47
Figura 27. Contenido de Nitrógeno (%) foliar en plantas de cultivo de <i>Sorghum bicolor</i> L. bajo diferentes tratamientos.	48
Figura 28. Contenido de Fosforo (%) foliar en plantas de cultivo de <i>Sorghum bicolor</i> L. bajo diferentes tratamientos.	49

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie sembrada y valor de producción de los 13 sistemas producto agrícola prioritarios en el estado de Morelos (SIAP, 2008).	19
Cuadro 2. Tratamientos empleados en el experimento.	27
Cuadro 3. Variables edáficas evaluadas en la zona de estudio.	38
Cuadro 4. Porcentaje de colonización número de esporas en 100 g de suelo en plantas recolectadas de <i>Sorghum bicolor</i> L. a los 30 días después de la siembra.	40
Cuadro 5. Características agronómicas de <i>Sorghum bicolor</i> L. fertilizados e inoculados con HMA nativo y <i>Rhizophagus intraradices</i> a los 30 días después de la siembra.	43
Cuadro 6. Características agronómicas de <i>Sorghum bicolor</i> L. fertilizados e inoculados con HMA nativo y <i>Rhizophagus intraradices</i> en cosecha.	44
Cuadro 7. Componentes de rendimiento evaluadas a cultivo de <i>Sorghum bicolor</i> L. fertilizados e inoculados con HMA nativo y <i>Rhizophagus Intraradices</i>.	45

1. RESUMEN

El sorgo constituye un cultivo de gran importancia; es utilizado para la obtención de harina, aceite, alcohol, glucosa y en la preparación de alimento para consumo animal. Sin embargo existen restricciones que han impedido aumentar el rendimiento de este cultivo por lo que el empleo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una alternativa en la producción agrícola, dado que la asociación facilitan la toma de nutrimentos. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los HMA en el crecimiento de sorgo. En un área de 96 m² de la localidad de Cuautla, Morelos, donde se seleccionaron al azar siete parcelas (6 m²), dos para cada tratamiento, los cuales consistieron en: Control con fertilización química tradicional (completa) (F), Inoculados con inoculante nativo (Nt), Inoculados con *Rhizophagus intraradices* (Ri), Nt adicionando lombricomposta (Nt+L), Ri adicionando lombricomposta (Ri+L), Nt adicionando fertilizante químico a la mitad de la dosis tradicional (Nt+F) y Ri adicionando fertilizante químico la mitad de la dosis tradicional (Ri+F). Se sembraron 70 semillas por metro lineal, la lombricomposta fue incorporada y homogeneizada antes de la siembra. La inoculación y fertilización química se realizó al momento del sembrado. Las plantas del tratamiento F fueron fumigadas tres días después de la siembra. Se realizó un muestreo destructivo tres meses después de la siembra y cinco meses más tarde, se cosechó el experimento. Se evaluaron características agronómicas, porcentaje de colonización, así como nitrógeno y fósforo foliar. Además de realizarse mediciones de componentes de rendimiento, como peso foliar, peso de cien semillas, peso total de panojas y grano, rendimiento de grano. Las plantas del tratamiento Nt+F presentaron el valor promedio más alto en las siguientes variables: peso de la planta (103 g), número de hojas (8), peso (55 g) y ancho de la panoja (7 cm), al ser comparados con el resto de los tratamientos micorrizados. Con respecto a la altura de la planta (165 cm) y el peso y ancho del tallo (60.23 g), el tratamiento Nt+L mostró los valores más elevados. El tratamiento F presentó los valores más altos en todas las variables agronómicas, mientras que los tratamientos Nt y Ri mostraron los valores más bajos. Las plantas del tratamiento Nt+F exhibieron en su sistema radical el valor porcentual más alto con respecto al porcentaje de colonización micorrízica, siendo éste de un 88%. Cabe destacar que los valores obtenidos en el tratamiento F en las diferentes variables, podrían deberse a que además de ser fertilizado con la dosis completa utilizada por el agricultor, también mostro colonización micorrízica (58%) por parte del HMA autóctono. Los tratamientos con fertilización química completa e inoculación con HMA nativo y fertilización química simultánea no presentaron diferencias significativas en componentes de rendimiento como peso de cien semillas, peso de grano, rendimiento de grano en *Sorghum bicolor* L. Las plantas inoculadas con HMA nativo manifestaron el valor promedio mayor de fósforo foliar y el tratamiento con fertilización completa con mayor valor en nitrógeno foliar. Los resultados demostraron que la inoculación con HMA nativos integrando la dosis media de fertilizante químico puede igualar la productividad de *Sorghum bicolor* L., obtenida por medio de la aplicación de fertilizantes químicos en dosis completa, utilizada en la región de Cuautla, Morelos.

2. INTRODUCCIÓN

El sorgo de grano se ha considerado como un sustituto del maíz, ya que se utiliza en la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo para aves, cerdos y bovinos, fuente de materia prima para la obtención de harina (almidón) y aceite, así como también en el aprovechamiento del rastrojo para alimento de bovinos y equinos en menores proporciones (Calvo 2008). En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación aceto-butílica, donde se producen 3 solventes importantes: alcohol, acetona y butanol (Financiera Rural, 2009).

En la República Mexicana el sorgo de grano no se introduce en la alimentación directa del hombre, pero sí en forma indirecta, ya que el mexicano lo consume a través de alimentos de alto valor nutritivo. Su importancia radica en que nutre de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales, la cual, a su vez, permite que en el mercado alimentario disponga de proteínas de origen animal (Financiera Rural, 2009). De esta forma, la demanda del sorgo se compone de la siguiente manera: 92% está destinada al consumo animal, es decir sector pecuario, 7% se constituye por mermas y 1% es utilizado como semillas para siembra (Nar, 2008).

En México a diferencia del mundo el consumo está creciendo, así como la producción, impulsado por el crecimiento de la ganadería y el enorme déficit de granos forrajeros que presenta nuestro país. En el ámbito mundial, el sorgo es uno de los cultivos más importantes, ocupa el quinto lugar en superficie cultivada con el 6.35%, después del trigo (31.77%), arroz (22.01%), maíz (20.93%) y cebada (8.14%), con respecto a la superficie cultivada mundial de cereales (SAGARPA 2008).

México se ubica en el cuarto lugar en la producción mundial de sorgo, después de Estados Unidos, Nigeria e India. En los últimos años, el sorgo ha jugado un papel importante en el desarrollo del sector agropecuario. Ya que ocupa el segundo lugar, después del maíz, en la producción obtenida de los 10 principales granos básicos. El sorgo ocupa el segundo cultivo más sembrado del país, con 2,101.5 mil ha sembradas en el 2003. El primer lugar lo ocupa el maíz grano con 8,126.8 mil ha (SAGARPA *et al.*, 2008; SAGARPA, 2005).

De manera particular el estado de Morelos es el sexto productor de sorgo de temporal a nivel nacional y representan el 7.9% de la superficie estatal sembrada (Nar, 2008). En Morelos se cultivan aproximadamente 55 mil hectáreas de sorgo, con una producción promedio que varía de 3.5 a 5.0 ton ha⁻¹, dependiendo la forma en como se presente la precipitación. Los municipios productores son: Axochiapan, Jantetelco, Jonacatepec, Temoac, Tepalcingo, Ayala, Yecapixtla, Yautepec, Cuautla (SAGARPA *et al.*, 2010).

Existen restricciones ambientales que han impedido aumentar las superficies y rendimiento de los cultivos más rentables como es el caso del sorgo. Restringiéndose principalmente por requerimientos edáficos, o bien por características del clima (Morales *et al.*, 2000). Gran parte de la superficie se cultiva por medio del manejo y labranza moderna que implica: barbecho, rastra y surcado, además de la fertilización química con fuentes solubles y el establecimiento de monocultivos, ocasionando día con día la erosión del suelo (SAGARPA *et al.*, 2010).

Por ello, es urgente el desarrollo de prácticas agronómicas que eleven la rentabilidad de la producción de sorgo y promuevan un equilibrio agroecológico conduciendo a una agricultura sostenible. Por ello una alternativa de manejo para mejorar el estado nutricional de los suelos es el uso de mecanismos biológicos a fin de mejorar el balance biológico en el mismo y reducir el uso de fertilizantes químicos y de otros agroquímicos en los sistemas de producción (Aguirre, 2008; Olalde y Serratos, 2008).

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), así como la aplicación de otros 'biofertilizantes', se postulan como prácticas de alternativa con factibilidad de implementarse en la producción agrícola. Los hongos micorrízicos arbusculares son componentes importantes de la comunidad microbiana de la rizósfera, que colonizan las raíces de las plantas y establecen simbiosis (Díaz, 2007). Estas asociaciones se establecen con aproximadamente un 80% de las familias de plantas existentes. Las HMA son el tipo de micorrizas que forman la mayoría de las plantas de interés agrícola (Cuenca *et al.*, 2007).

La importancia de esta simbiosis en el desarrollo de las plantas se entiende al tener en cuenta que la raíz es el puente entre la planta y el suelo que, a su vez, el micelio del hongo micorrizógeno es el puente entre la raíz y el suelo. En consecuencia, la micorriza, como órgano de absorción y traslocación de agua y nutrientes, es una de las más sobresalientes adaptaciones de la raíz para desenvolverse adecuadamente en el ambiente edáfico (Guerra, 2008).

Con la finalidad de estudiar el resultado de la inoculación con este tipo de microorganismos en sistemas agrícolas, se estudio el efecto del HMA nativo y *Rhizophagus intraradices* en el cultivo de temporal de *Sorghum bicolor* L. ubicada en la localidad de Cuautla, estado de Morelos, México.

Teniendo en cuenta 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 los hongos micorrízicos arbusculares en cultivos de importancia como el sorgo (Díaz, 2008).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Rizósfera

3.1.1. Características

El suelo es un recurso viviente, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la productividad de las especies vegetales, así como para el mantenimiento de la biodiversidad (Doran *et al.*, 1999). Además de ser el hábitat de una comunidad diversa de algas, bacterias, arqueobacterias y hongos. Estos organismos junto con los virus y con los componentes de la microfauna, forman la biota del suelo. La actividad y la diversidad de la microbiota además de condicionar la fertilidad del suelo, determinan la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales y agroecosistemas. La diversidad microbiana es esencial para garantizar los ciclos biogeoquímicos y fenómenos de descomposición de material vegetal, en cualquier ecosistema terrestre y acuático (Peña, 2002).

Por otro lado, las plantas son las principales suministradoras de substratos energéticos al suelo, siendo un componente importante de esta transferencia la interfase llamada rizósfera (Peña, 2002). La cual se define como el espacio inmediato alrededor de la raíz donde tiene lugar una vida microbiana más activa. Esta región, es un ambiente que la planta misma ayuda a crear y donde los microorganismos patógenos y benéficos constituyen una fuerte influencia sobre la salud y crecimiento de las plantas (Johansson *et al.*, 2004).

En la rizósfera, ocurre un intercambio de sustancias nutritivas mediante un complejo de interacciones entre las plantas y los organismos del suelo. Cada una de las diferentes especies de plantas favorecen el desarrollo de un tipo específico de vida y las raíces de las plantas también tienen una población particular de microorganismos con la que interactúa (Kolmans, 1999).

La rizósfera se encuentra dividida en ectorrizósfera (rizósfera externa), y endorrizósfera (rizósfera interna), en la cual se lleva a cabo la invasión y colonización de las células corticales de la raíz por parte de algunos microorganismos, entre ellos los hongos micorrízicos arbusculares (Peña, 2002). En la rizósfera, existe un flujo de compuestos exudados por la raíz, proporcionando condiciones ideales para el desarrollo de una gran variedad de microorganismos mismos que a través de su actividad fisiológica, hacen posible la liberación y asimilación de nutrimentos para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Allen *et al.*, 1995; Ferrera y Alarcón, 2007).

En la parte apical de la raíz, se producen una serie de sustancias que son exudadas por ella; estas quedan incluidas en el mucigel el cual es un polisacárido secretado por la cofia de la raíz y por células epidérmicas y corticales. Estos exudados se liberan de la planta por los efectos físicos y ambientales como pH, luminosidad, temperatura, contenido de agua del suelo y daños a la raíz. El

mucigel está compuesto en mayor parte de agua, y en menor proporción por compuestos orgánicos como carbohidratos. Además de contener factores de crecimiento, entre los que se encuentran la biotina, niacina, tiamina e inositol, necesarios para el desarrollo de microorganismos (Ferrera, 1995).

3.1.2. Efectos de la rizósfera sobre los microorganismos

Las interacciones entre los vegetales y los microorganismos del suelo se manifiestan de modo especial en la rizósfera. La microbiota es modificada por la estimulación, o en algunos casos inhibición, debido a los exudados radicales y los restos tisulares. No solamente la intensidad del efecto rizosférico sino también la intensidad de la colonización del rizoplano, varía en las diferentes partes de un mismo sistema radical. Cada especie o variedad de planta induce un efecto rizosférico característico, pero cuando las raíces envejecen desaparece progresivamente este efecto dando lugar a la proliferación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de los tejidos vegetales muertos (Fenchel, 2000).

Los factores ecológicos físicos (humedad, temperatura, luz) actúan directamente sobre la microbiota rizosférica o indirectamente por intermedio de la planta modificando la calidad y cantidad de los exudados radicales. La elevación de la humedad del suelo por sobre un cierto nivel puede modificar considerablemente el equilibrio microbiano (Fenchel, 2000).

En la rizósfera, existe expresión de relaciones simbióticas mutualistas entre microorganismos y plantas, debido a la exudación de nutrimentos orgánicos útiles para el metabolismo microbiano ya que la raíz proporciona un nicho ecológico. Los microorganismos, a la vez, participan en numerosos beneficios, como: influencia en el crecimiento radical, regulación de la actividad metabólica de la raíz e influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como de los contaminantes (González *et al.*, 2001).

3.2. Simbiosis micorrízica

3.2.1. Micorrizas

Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre raíces de plantas superiores y ciertos grupos de hongos del suelo. El hongo coloniza biográficamente la corteza de la raíz, sin causar daño a la planta, llegando a ser, fisiológica y morfológicamente, parte integrante de dicho órgano, estos hongos le administran a la planta nutrimentos minerales, especialmente los poco móviles como el P. A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo simbionte (heterótrofo), compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, y un hábitat ecológico protegido (Guerra, 2008).

Además de impartir otros beneficios como estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmóticos en caso de sequía, aumento de fijación de N por bacterias simbióticas o asociativas, incremento de resistencia a plagas, tolerancia a estrés ambiental, mejoramiento de la agregación del suelo y mediación en muchas de las acciones e interacciones de la microflora y microfauna, que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces (Bethlenfalvai y Linderman 1992). La eficacia, sin embargo, varía con el hongo micorrízico, el patógeno, el sustrato y las condiciones ambientales (Barea, 1998).

Existen distintos grupos de micorrizas, los más extendidos son los llamados ectomicorrizas y endomicorrizas; estas últimas se encuentran comúnmente representadas por las micorrizas arbusculares (Marschner, 1990), de las cuales se hablara a continuación.

3.2.2. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

3.2.2.1. Generalidades

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos cosmopolitas que forman asociaciones ecológicamente mutualistas que se establecen entre la gran mayoría de las plantas y un selecto grupo de hongos clasificados en la división Glomeromycota, particularmente en el orden Glomerales, el cual comprende aproximadamente 200 especies descritas (Alarcón, 2008). Aproximadamente un 80% de las familias de plantas existentes tienen la potencialidad de formar este tipo de asociación (Giovanetti *et al.*, 1998; Vierheilig, 2004).

Hacia la segunda mitad del siglo XIX, varios investigadores notaron la presencia de hongos en las raíces de las plantas, evidenciando que no mostraban ningún síntoma de enfermedad o necrosis. Los hongos micorrízicos son pues tan antiguos como las propias plantas; esto se puede deducir de la observación del primer registro fósil, que se conoce de un vegetal, el fósil (*Aglaophyton*) del cuarzo Riñe, fechado en 370 millones de años, en la fase temprana Devoniana (Nicolson, 1975).

El nombre de los HMA, proviene de las estructuras fúngicas que todas las especies de HMA forman en las células corticales de la raíz. Los arbuscúlos representan los sitios de intercambio de carbono y fósforo entre el hongo y la planta. En este caso, el hongo provee a la planta de nutrientes inorgánicos, mientras que en reciprocidad, la planta provee al hongo con fuentes simples de carbono (fructosa y glucosa) que le permiten satisfacer sus requerimientos metabólicos. Además de los arbuscúlos, algunas especies de HMA forman estructuras dentro de las raíces como las vesículas, las cuales son estructuras de reserva del hongo (Figura 1) (Alarcón, 2008). Los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* no producen vesículas, en lugar de ellas forman células auxiliares (Peterson *et al.*, 2004).

En cuanto a las esporas, algunos HMA las producen intrarradicalmente, mientras que la mayoría de ellos producen esporas de manera extracelular. Siendo estas, las principales estructuras de propagación y resistencia de los HMA durante condiciones adversas (Alarcón, 2008).

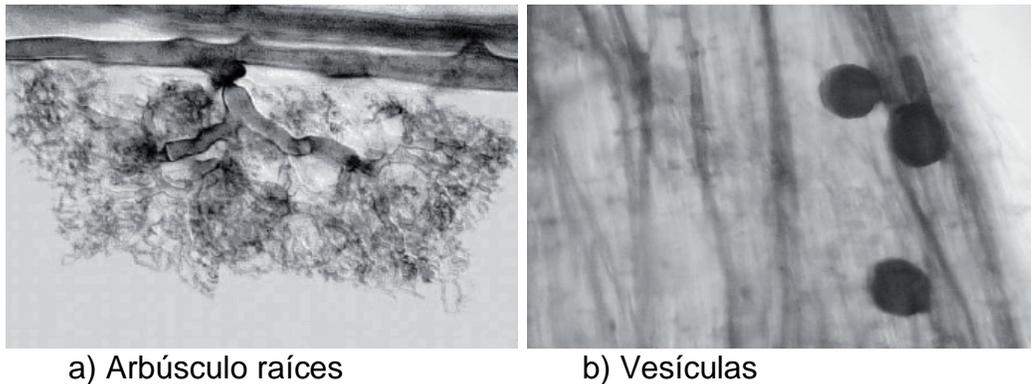


Figura 1. Arbúsculo y vesículas de HMA en raíces (Peterson *et al.*, 2004).

Las hifas externas pueden ser de tres tipos según su morfología y las funciones que llevan a cabo: Las hifas infectivas, son las que inician los puntos de colonización en una o varias raíces; las hifas absorbentes son las que se encargan de explorar el suelo para la extracción de nutrientes y las hifas fértiles son las que llevan las esporas (Barker, 1998).

Pueden observarse dos tipos morfológicos de colonización como puede observarse en la figura 2, el tipo “Arum”, donde las hifas presentan crecimiento intercelular y los arbúsculos se encuentran dentro de las células corticales de la raíz; y el tipo “Paris” en el cual las hifas presentan crecimiento intracelular al igual que los arbúsculos, pero forman enrollamientos cuando están dentro de la célula (Cavagnaro, 2001; Peterson, 2004).

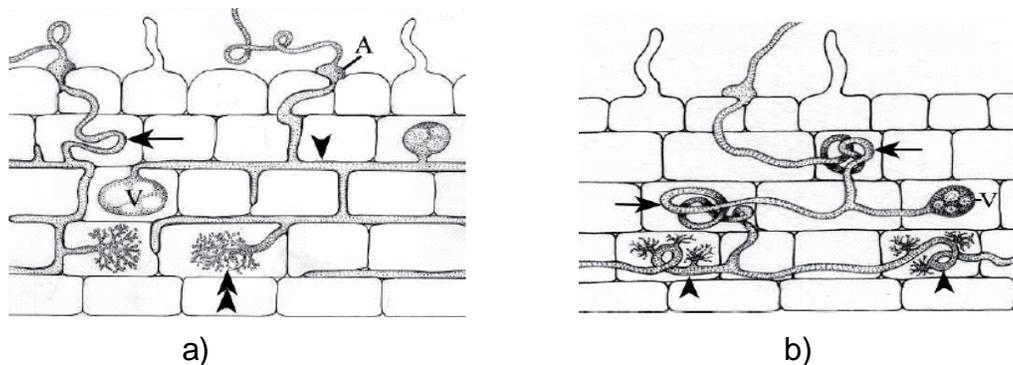


Figura 2. Tipos de asociación micorrízica arbuscular, a) Tipo Arum, b) Tipo Paris. Se aprecian vesículas (v); el apresorio (A); hifas (♣) y arbúsculos (⤴). Tomado de Peterson *et al.*, 2004.

El crecimiento del hongo de manera asimbiótica se da entre una o dos semanas hasta que hace contacto con la raíz del hospedero, formando una estructura llamada apresorio por donde penetrarán las hifas a las células corticales de la raíz, para formar los arbusculos e incrementar el área de contacto entre la planta y el hongo (Bago, 2000).

3.2.2.2. Distribución ecológica

La distribución de los HMA, además de amplia, ya que se encuentran en todos los ecosistemas y suelos, puede ser muy heterogénea en un mismo sitio en cuanto a variedad y cantidad, lo que es un requisito importante para que la planta obtenga el máximo beneficio de la asociación (Sieverding, 1986).

Aparentemente, las especies de HMA no tienen especificidad en la elección de sus hospederos. Sin embargo, diferencias en los efectos que las especies de HMA causan sobre el crecimiento de los individuos de especies vegetales, indican que éstas responden a especies específicas de HMA y consecuentemente, hay un aumento en la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema determinado (Van Der Heijden, 1998).

Por otro lado, los HMA se encuentran altamente adaptados a diferentes tipos de ambientes, su diversidad depende de factores como el área de estudio, estación del año. Características edáficas, así como el grado de perturbación de la vegetación (Gonzalez *et al.*, 2001). Se ha detectado la presencia de hongos micorrízicos en prácticamente todo tipo de suelos, pero su población y actividad dependerán de condiciones ambientales. La presencia de nutrientes solubles y agroquímicos, los extremos de humedad (especialmente el exceso) y los extremos de temperatura disminuyen su actividad y capacidad de crecimiento. La presencia de materia orgánica y la actividad biológica del suelo tienen efectos positivos, aunque determinadas especies de hongos, bacterias y nemátodos pueden alimentarse de hongos micorrízicos (Cardoso y Lambais, 1992).

Diversos estudios indican que, en un amplio rango de condiciones, el estímulo del crecimiento y actividad de las micorrizas ya presentes en el suelo mediante manejo ambiental puede ser suficiente para lograr un efecto importante sobre la nutrición de la planta. Sin embargo, en suelos altamente erosionados o en la producción de plántulas para trasplante, la introducción de micorrizas mediante inoculación pareciera ser una medida complementaria necesaria (Cardoso y Lambais, 1992).

Existe controversia en torno a cómo la diversidad de las comunidades de HMA tiende a disminuir en ecosistemas naturales transformados a agroecosistemas. Los monocultivos por ejemplo después de años de manejo agrícola pueden reducir la abundancia de las especies fúngicas (Sieverding, 1991; Oehl, 2003.)

3.2.2.3. Importancia

Los HMA son las formas más importantes en la micotrofia, con distribución global, además de ser fundamentales en la estructura y diversidad de la vegetación. Asimismo son determinantes de la cubierta vegetal en todos los ecosistemas, lo cual se refleja en su ubicuidad en la biota edáfica y en su participación directa en procesos esenciales de la interfase suelo-planta (Monroy y García, 2009). Según Miller y Allen (1992) y Molina *et al* (1992), consideran que al ocurrir cualquier cambio en la población de HMA puede tener consecuencias en la composición de la comunidad vegetal, como en la competencia, supervivencia y diversidad florística; causando cambios en la sucesión de los ecosistemas naturales.

Esta simbiosis facilita la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos. También influye directa o indirectamente en la absorción de otros iones minerales (N, K, Ca, Mg, Fe, Mn). Desde esta perspectiva, el HMA no solo contribuye a la nutrición de la planta en aquellos suelos donde estos nutrientes son escasos, ya que explora un volumen de suelo mayor que el de la raíz sola, sino también favorece la nutrición del suelo (Bethlenfalvay y Linderman, 1992), dado que incrementa la actividad microbiana.



Figura 3. Áreas de aplicación de los HMA (Guerrero, 1996).

Además de brindar una mayor tolerancia al déficit hídrico, los HMA juegan un papel muy importante en la protección contra patógenos de las raíces a través de diversos mecanismos de acción, entre los que se encuentran el micoparasitismo, la lisis enzimática, la antibiosis, la competencia por espacio o por nutrientes, y la inducción de resistencia en la planta (Whipps, 2001).

Los hongos micorrízicos arbusculares constituyen un insumo microbiológico promisorio para el desarrollo de una agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizantes biológicos, son quizás motivos suficientes para considerarlos como uno de los componentes importantes en la agroecología moderna (Guerra, 2008). En la figura 3, se muestran los distintos campos de aplicación de los HMA.

3.3. *Sorghum bicolor* L.

3.3.1. Antecedentes históricos

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en India en el siglo I d. C.; sin embargo, quizás sea originario de África Central -Etiopía o Sudán- desde hace más de 5000 a 6000 años, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia (Domínguez, 2006). Existen evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India (Nar, 2008).

El cultivo del sorgo se hace extensivo en África, India, Manchuria, y EE.UU. Algunos sorgos también crecen en otras partes de América Central y del Sur (Domínguez, 2006). No se ha podido determinar con precisión en que época comenzó el sorgo a ser planta cultivada, sin embargo algunas evidencias permiten establecer de que este cereal fue uno de los primeros domesticados por el hombre (FENALCE, 2010a).

El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la planta por primera vez en América. Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África, con el nombre de maíz de Guinea (FENALCE, 2010a; Nar, 2008;).

Los sorgos primitivos presentaban condiciones morfológicas muy poco deseables para la producción de grano, pues eran de porte elevado, de periodo vegetativo largo, se volcaban con facilidad y muy difíciles de cosechar. Con el desarrollo de la genética, el fitomejoramiento y la introducción de la mecanización en la agricultura, se hicieron selecciones a partir de los materiales originales, obteniendo tipos más

precoces y de porte relativamente bajo (FENALCE, 2010a). Sin embargo, fue la combinación de "tipos" de sorgo granífero, iniciada por John B. Seiglinger de Oklahoma, lo que hizo posible cultivarlos utilizando la cosecha mecanizada (Nar, 2008).

El desarrollo posterior de los tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo granífero como un importante cultivo. Pero el proceso más trascendental, ocurrió al surgir los primeros híbridos hacia 1950; alcanzando actualmente los rendimientos de 13.440 kg ha⁻¹ en los sorgos graníferos híbridos (Nar, 2008).

En la actualidad es cultivado en su zona de origen, Europa, Asia y América, siendo utilizado para consumo humano, animal y para la elaboración de bebidas alcohólicas.

3.3.2. Características generales

El *Conservatorio y Jardín Botánico de Ginebra*: Flora africana, clasifica taxonómicamente al sorgo, de la siguiente manera:

Nombre científico: *Sorghum bicolor* (L) Moench

Clasificación científica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Liliidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Género: *Sorghum*

Especie: ***Sorghum bicolor***

Nombre binomial: ***Sorghum bicolor* (L.) Moench.**

Tallo: el sorgo es generalmente una planta con un solo tallo, pero varía mucho en su capacidad de ahijamiento dependiendo de la variedad, población de plantas y ambiente. Tiene una altura de 1 a 2 m, posee de 7 a 24 nudos erectos, sólidos con una corteza dura y médula más suave, su diámetro varía entre 5 a 30 mm en la base. El pedúnculo es el entrenudo más alto y largo, lleva la inflorescencia (Nar, 2008; Financiera Rural, 2009).

Hojas: posee de 7 – 24 hojas erectas que se encorvan con la edad, son alternas y lanceoladas o linear lanceoladas con una superficie superior lisa y cerosa. Las hojas maduras miden de 1,5 – 15 cm de ancho por 30 – 135 cm de longitud. La vena central es prominente, convexa abajo y cóncava arriba. La última hoja

producida es la hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo. Son ricas en azúcar que permiten la obtención de etanol por destilación (Nar, 2008; FELANCE, 2010b).

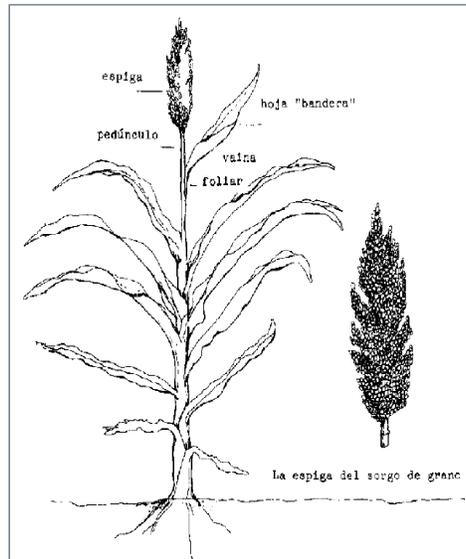


Figura 4. Planta de *Sorghum bicolor*, Nar (2008).

Inflorescencia: es una panícula de racimos con un ráquis central. La panícula puede ser corta o larga, suelta y abierta, compacta o semicompacta, puede tener de 4 a 25 cm de largo, de 2 a 20 cm de ancho y llevar de 400 a 8000 granos. El ráquis puede ser largo o corto, grueso o delgado, estriado, acanalado, peludo o glabro y con varias ramas en cada nudo.

Las ramas están en verticilos, pueden ser largas o cortas, delgadas o gruesas, rígidas o flexibles, peludas o glabras y ramificadas cerca de la base o en la punta. El ráquis puede tener ramas secundarias o terciarias que llevan racimos de espiguillas, cada racimo tiene una o varias espiguillas en pares: una sésil (femenina) y la otra pedicelada (masculina o estéril). Las espiguillas terminales ocurren en triadas, dos de las cuales son pediceladas y estériles (FELANCE, 2010b).

Semilla: El grano es una carióspside, esférica y oblonga, pudiendo ser de color blanco, amarillento, rojo o rosa, predominando el color castaño, con pericarpio y testa coloreados, lo que indica presencia de tanino (Cargill, 2006). El tamaño de la semilla varía considerablemente entre las variedades, extendiéndose típicamente a partir del 2173 a 4348 semillas/kg (De la Cruz, 2007).

Raíz: radícula sencilla, responsable del establecimiento de la plántula. El sistema radical adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo, la profundidad de enraizado es de 1 a 1,3 m con el 80% de las raíces en los primeros 30 cm (FELANCE, 2010b).

Se adapta bien al crecimiento en zonas áridas o semiáridas cálidas, su resistencia a la sequía durante periodos largos y el reemprendimiento de su crecimiento al cesar, lo hace un cultivo importante. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13°C (Financiera Rural, 2009). El sorgo consume dos veces menos de agua que el maíz (Nar, 2008). El cultivo de sorgo cuenta con un sistema fotosintético de tipo C4, los cuales presentan una actividad fotosintética eficiente. Además de una adaptación a la luz intensa, a ambientes áridos y calurosos, facilitando un mayor aprovechamiento en el uso del agua y el nitrógeno donde estos se encuentran limitados (Black, 1973). Las plantas C4 constituyen una de las adaptaciones más complejas y representativas de los vegetales a condiciones de estrés (Sheen, 1999).

EL sorgo presenta un valor nutritivo comparable y ocho veces menos que la caña de azúcar (Nar, 2008). Tiene aproximadamente un 95% del valor biológico del maíz, su composición está constituida por: proteína bruta 9- 11 %; materia grasa 2- 3%; fibra bruta 2 -3% y almidón 60 -65 % (Domínguez, 2006). Es un alimento básico de la dieta de millones de personas en la India y la zona central de África. Sin embargo, los países desarrollados no incluyen el sorgo en su alimentación, sino que lo emplean como forraje para el alimento del ganado (Nar, 2008).

El sorgo es uno de los principales granos en nuestro país, su importancia en nuestro país radica principalmente en que se utiliza como materia prima para la industria de alimentos balanceado para aves, porcinos, bovinos, entre otros, que a su vez son importantes fuentes proveedoras de alimentos para consumo humano (SIAP, 2003). Además de realizarse harina de sorgo sola o en composición de harinas compuestas, para la fabricación de galletas, alfajores, bizcochos y pan. (Financiera Rural, 2009).

En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación aceto-butílica donde se producen 3 solventes importantes: alcohol, acetona y butanol (Financiera Rural, 2009). Este cultivo puede llegar a ser uno de los dos grandes cultivos tropicales para producir biocombustibles, factor que aumentará la capacidad del mercado mundial, en el que la demanda excede ampliamente a la oferta (Nar, 2008).

3.3.3. Exigencias del cultivo

La temperatura afecta el desarrollo de las plantas de sorgo. Al principio de su desarrollo, soporta bajas temperaturas de forma parecida al maíz; los descensos de temperatura en el momento de la floración pueden reducir el rendimiento del grano. Se desarrolla muy bien cuando las temperaturas son altas, adaptándose muy bien en regiones con temperaturas entre 21 °C y 30 °C. Para una buena germinación, el suelo a 5 cm de profundidad, debe tener una temperatura no inferior a los 18 °C., durante tres o más días (FENALCE, 2010a; Nar, 2008).

Requiere un mínimo de 250 mm de agua durante su ciclo para llegar a producir grano, para lograr altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 a 600 mm durante todo su ciclo, dependiendo del tipo de suelo, topografía de lote, genotipo elegido y las condiciones ambientales reinantes. Por lo tanto, regiones que presenten precipitaciones que van desde los 700 a 1.000 mm/año son aptas para adelantar este tipo de cultivo. Las mayores exigencias de agua comienzan unos 30 días después de la emergencia y continúan hasta el llenado de los granos, siendo las etapas más críticas las de panojamiento y floración, puesto que deficiencias hídricas en estos momentos producen importantes mermas en los rendimientos (Nar, 2008).

El sorgo se puede desarrollar bien en una amplia gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos. Los mayores rendimientos se obtienen en suelos de textura franca y sus afines: franco arcilloso, franco limosos y franco arenosos, bien drenados y libres de inundaciones, ya que condiciones demasiado húmedas limitan notablemente su producción. El sorgo posee un amplio rango de adaptación tanto a la acidez como a la alcalinidad de los suelos, mejor que el maíz. Crece bien en lotes cuyo pH oscila entre 5,5 y 6,5 (FENALCE, 2010a).

La siembra debe coincidir con el inicio de las lluvias de primavera para que el sistema radicular se desarrolle y establezca bien antes de que se inicien los períodos secos estacionales. A pesar que el sorgo tiene la capacidad de permanecer latente durante la sequía, para volver luego a crecer en períodos favorables, las situaciones de estrés modifican su comportamiento: el inicial conduce generalmente a una prolongación del ciclo de cultivo, mientras que el estrés tardío acelera la madurez (Nar, 2008).

Siete a diez días después de la emergencia se inicia la absorción de los nutrientes por parte del sistema radicular. Durante las diferentes etapas de desarrollo, la planta tiene absorción diferencial, pero la mayor absorción se inicia en la etapa de crecimiento reproductivo hasta llenado de grano. Por otra parte, la gran demanda de N comienza a partir de V5 (20-30 días posteriores a la emergencia) hasta 10 días previos a la floración. Durante este período el cultivo toma alrededor del 70 % de los nutrientes requeridos (FENALCE, 2010a; Zamora *et al.*, 2008).

El cultivo del sorgo para rendimientos altos demanda una buena cantidad de algunos nutrientes: N>K>P>Ca>Mg>S. La buena provisión de N desde los primeros estados permitirá al cultivo un rápido crecimiento y una suficiente área foliar para interceptar la mayor cantidad de radiación y así transformarla en biomasa (Zamora *et al.*, 2008).

La mayoría de los suelos de la región donde el cultivo de sorgo tiene mayor difusión, están medianamente o bien provistos de fósforo. Sin embargo, su progresivo deterioro físico - químico ha provocado una marcada disminución del fósforo disponible, ocasionando deficiencias y necesidades de fertilización. A diferencia del nitrógeno, tiene escasa movilidad en el suelo, por su baja

solubilidad. Para una adecuada eficiencia, el fertilizante debe aplicarse a la siembra, cerca de la semilla, preferentemente por debajo y al costado. Este nutriente es muy necesario para el crecimiento temprano y el desarrollo de las hojas. Por otro lado, el potasio, es un elemento poco móvil por su fijación a las arcillas del suelo (Cargill, 2006).

Sin embargo una alta proporción de lo extraído por el cultivo es devuelto al suelo en sus residuos luego de ser cosechado el grano, especialmente potasio magnesio y calcio y en menor proporción fósforo y potasio (FENALCE, 2010a).

La planta de sorgo extrae cerca de 60 kg ha^{-1} de N, 25 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 20 kg ha^{-1} de K_2O para producir aproximadamente 3 ton ha^{-1} de grano.

Estas necesidades pueden ser cubiertas por:

- a) Reservas del suelo
- b) Fertilizantes minerales u orgánicos
- C) Biofertilizante, generalmente (Nitrógeno y Fósforo)

La aplicación de abonos orgánicos, además de ser una fuente de nutrimentos, mejora significativamente las condiciones físicas y biológicas de los suelos (Domínguez, 2006).

En lo que se refiere a malezas, ensayos de investigación aplicada, realizados por FENALCE en las Regionales del Tolima y del Huila (Cuba), han permitido demostrar a los agricultores que si el cultivo se mantiene enmalezado durante los primeros treinta días, periodo en el cual ocurre la formación y desarrollo del primordio floral (panícula), el rendimiento disminuye hasta en un 60% (FENALCE, 2010a).

Se ha demostrado que el mayor daño por competencia se presenta durante los dos primeros meses del cultivo, donde las plántulas de sorgo son débiles y se desarrollan muy lentamente, con un pico máximo que ocurre durante las primeras 3 o 4 semanas después de la emergencia y que se prolonga hasta los 30 días, etapa fisiológica que se caracteriza por el lento crecimiento del sorgo, mientras que la maleza se desarrolla rápidamente (FENALCE, 2010a).

La problemática que afecta a este cultivo principalmente, es la siguiente:

- Lluvias escasa y mal distribuidas
- Baja fertilidad de los suelos
- Aplicación de fertilizantes fuera de la época
- Mal control de maleza
- Alta presencia de enfermedades (Ávila, 1997).

3.3.4. Utilización e importancia económica

3.3.4.1. Internacional

El cultivo de sorgo es el cuarto cereal sembrado en el mundo, después del arroz, trigo y maíz (Calvo *et al.*, 2008). La producción mundial alcanza los 63 millones de toneladas. Los principales productores son Nigeria, Estados Unidos, India y México (FELANCE, 2010a; SIAP, 2003).

A escala mundial el sorgo se utiliza principalmente como forraje, tanto en forma directa como en diversos procesos industriales. Su utilización como alimento de especies ganaderas lo convierte en insumo esencial para el desarrollo del sector pecuario. Sin embargo en algunos países de África y Asia, una alta proporción de las cosechas se destina a la preparación de diversos alimentos para consumo humano (SIAP, 2003). Su valor nutritivo posibilita su uso en la alimentación humana y animal, ya que es de uso directo para productores de carne y leche (Nar, 2008).

En zonas de la India, China y África, el sorgo constituye más del 70% del total de calorías y suministra gran parte de las proteínas de la dieta. La harina de sorgo granífero molido a seco puede reemplazar a toda la harina de trigo en formulas de pan rápido con algunas modificaciones en clases y cantidades de ingredientes (Hahn, 1970).

El grano de sorgo es rico en almidón y es uno de los cultivos óptimos para aplicaciones industriales y, a pesar de tener una composición química similar a la del maíz, ha sido subutilizado en la elaboración de productos industriales y de valor agregado (Leeson y Summers, 1997).

Al sur de África se usa para la elaboración de cerveza, oscilando el contenido de alcohol en 2 y 4% por peso y es particularmente una buena fuente de vitaminas del grupo B. Por otro lado, las principales materias primas de las industrias de fermentación son el almidón y el azúcar. Obteniéndose de varias fuentes, siendo la favorita el sorgo granífero. El sorgo granífero molido ha obtenido buenos resultados para la producción de ácido cítrico, ácido láctico, riboflavina y antibióticos (Hahn, 1970).

La producción de alcohol etílico es, sin duda, el producto de la fermentación más antigua e importante de este grano. La fermentación alcohólica se realiza generalmente con cepas de *Sacharomyces cerevisiae* aunque también es posible alcanzar concentraciones importantes de etanol con la bacteria *Zymomonas mobilis* (Garro *et al.*, 1995; Abate *et al.*, 1996). El potencial del sorgo granífero como cultivo para obtener energía -produce hasta 7 000 L de alcohol etílico por ha determina que países como China se interesen en este grano (FAO, 2002).

En la industria de la construcción el sorgo ha sido utilizado para la fabricación de placas de tabiques de yeso, además de utilizarse como aglutinante principal en fundición y como aditivo de arena para elaborar moldes (Hahn, 1970). También se utiliza para producir láminas para los muros, así como para elaborar materiales de envase biodegradables (FAO, 2002).

La producción mundial de Sorgo en el Ciclo Agrícola 2007/08 fue de 63.53 millones de toneladas, cifra superior en 6.90 millones de toneladas a la registrada el año anterior. Las estimaciones de producción del mes de Enero para el Ciclo Agrícola 2008/09 son de 63.79 millones de toneladas, 259,000 toneladas más que el Ciclo 2007/08 (Financiera Rural, 2009). Un factor importante que explica las fluctuaciones observadas en la producción durante los años, es la evolución de los rendimientos. La productividad del sorgo de temporal depende esencialmente de factores climatológicos como sequías, huracanes, etc. (SIAP, 2003).

En el Ciclo 2007/ 08 la Unión Europa, fue el principal bloque económico importador con un volumen de 5.26 millones de toneladas. Sin embargo, a nivel de país, México fue el principal importador de este grano con un volumen de 1.15 millones de toneladas seguido de Japón con 1.08 millones (Financiera Rural, 2009).

El consumo mundial de Sorgo se ha comportado de manera mixta en los últimos años, las estimaciones mundiales al mes de Enero para el Ciclo 2008/09 muestran una ligera reducción de 0.40 millones de toneladas en el Consumo mundial, para ubicarse en 62.83 millones de toneladas (Financiera Rural, 2009). Siendo los principales países consumidores México, India y Nigeria (Nar, 2008).

Las autoridades de planificación agrícola de China consideran al *Sorghum bicolor*, un cultivo decisivo para el desarrollo agrícola sostenible de las zonas agrícolas áridas (FAO, 2002).

3.3.4.2. Nacional

En los últimos años, en nuestro país el sorgo constituye un cultivo de gran importancia, ya que ha jugado un papel importante en el desarrollo del sector agropecuario. De igual manera, en la agricultura su participación es de gran importancia, ya que ocupa el segundo lugar, después del maíz, en la producción obtenida de los 10 principales granos básicos. Además es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada después del maíz y frijol (Calvo *et al.*, 2008).

El consumo nacional de granos forrajeros en nuestro país está integrado por diversos granos como sorgo, cebada, trigo y maíz, hecho que contrasta con otros países como EE.UU., en donde las formulaciones de alimentos balanceados están basadas prácticamente en maíz (Nar, 2008)

Respecto al consumo del grano de sorgo la mayor parte de la demanda se orienta hacia el consumo animal (SIAP, 2003). Aunque en México este grano no se introduce de manera directa en la alimentación del hombre, sí ocurre en forma indirecta, ya que el mexicano lo consume a través de alimentos de alto valor nutritivo, como son la carne de pollo, la carne de cerdo y el huevo principalmente (Calvo *et al.*, 2008).

La evolución del cultivo está íntimamente relacionada con el subsector pecuario principal demandante del grano para su utilización como forraje para la avicultura y porcicultura. En México el sorgo está calificado como el grano forrajero por excelencia, debido a su aportación al crecimiento de especies pecuarias proveedoras de alimentos básicos para a la población. Actualmente este grano constituye el 60 y el 80 % de la materia prima requerida para la producción de alimentos balanceados (SIAP, 2003)

El grano de sorgo es considerado por los productores pecuarios como un sustituto del maíz en los usos forrajeros, ya que se destina a la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo de aves, cerdos y bovinos, fuente de materia prima para la obtención de harinas de almidón y aceites, así como también en menor proporción, en el aprovechamiento del rastrojo (esquilmó) para la alimentación bovina y equina (SIAP, 2003). De esta forma, la demanda del sorgo se compone de la siguiente manera: 92% está destinada al consumo animal, es decir sector pecuario, 7% se constituye por mermas y 1% es utilizado como semillas para siembra (Nar, 2008).

La superficie sembrada de Sorgo en el año 2007 en el territorio nacional fue de 1.87 millones de hectáreas, ocupando el 12.35% de la superficie cosechada del país (Financiera Rural, 2009). Actualmente este grano se cultiva en casi todas las entidades federativas del país, pero presenta un alto grado de concentración identificándose dos zonas productoras importantes: el estado de Tamaulipas como primer productor a escala nacional, seguido por la zona del bajío, constituido por los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán. Estas zonas aportan al nivel de año agrícola alrededor del 74% de la superficie sembrada, el 75% de la cosechada y más del 78% de la producción total del país (SIAP, 2003)

La producción nacional de Sorgo para el año 2007 fue de 6.20 millones de toneladas, cifra superior en 12% al alcanzado en el ciclo anterior 2006 (5.52 millones de toneladas). Sin embargo, el volumen de producción y el rendimiento por hectárea de Sorgo se han reducido en los últimos años (Financiera Rural, 2009).

Tamaulipas y Guanajuato son los principales estados en producción a Nivel Nacional, en conjunto aportan el 61% de la producción total nacional, lo que equivale a 3.8 millones de toneladas. Sinaloa es el tercer lugar en producción con un volumen de 0.61 millones de toneladas, seguido de Michoacán con 0.50 millones y Nayarit con un volumen de 0.30 millones de toneladas (Calvo *et al.*, 2008).

Entre los años 2000 al 2007, los precios del grano se han incrementado en 83%. Mientras que, en el año 2000 el precio se ubicaba en \$1,051.53 por tonelada, al finalizar el 2007 el precio se incremento a \$1,924.17 por tonelada (Financiera Rural, 2009). Los niveles y fluctuaciones de los precios, dependen de factores

como son: producción, oferta y demanda, factores climatológicos, costos de producción de los granos y de los productos sustitutos (SIAP, 2003)

El consumo nacional de Sorgo ha disminuido en los últimos Ciclos, al finalizar el Ciclo Agrícola 2008, éste fue de 7.1 millones de toneladas, con lo cual se registra una disminución en el consumo de 24% respecto al 2004. México es importador neto de este grano, prácticamente no existen exportaciones. Desde el 2000 México ha incrementado la seguridad alimentaria, al ubicarse en 88%, por arriba del 75% de acuerdo a la FAO (Financiera Rural, 2009).

3.3.4.3. Estatal (Morelos)

En Morelos se cultivan alrededor de 125 mil hectáreas con 93 cultivos cíclicos y perennes (SAGARPA *et al.*, 2011). Siendo el sorgo de grano con mayor superficie cultivada (43 mil hectáreas), por encima del maíz con una extensión de 28 mil hectáreas en promedio, siendo estos bajo condiciones de temporal (Pedroza, 2011). Con una producción promedio que varía de 3.5 a 5.0 Ton ha⁻¹, dependiendo la forma en cómo se presente la precipitación.

El estado de Morelos se ubicó en el año 2009, como sexto productor a nivel nacional en lo que se refiere a grano de sorgo (SAGARPA, 2009). A la fecha gran parte de esta superficie se cultiva con labranza moderna que implica: barbecho, rastra y surcado. Lo que ocasiona día con día la erosión del suelo, propiciado por el agua y viento (SAGARPA *et al.*, 2010).

El cultivo de sorgo en Morelos genera, el segundo valor más alto de producción con 413 millones, superado solo por caña de azúcar (753 millones), según SIAP (2008), esto puede observarse en el cuadro 1. Los municipios productores de sorgo son: Yecapixtla, Axochiapan, Tepalcingo, Jonacatepec, Jantetelco, Temoac, Ayala, Cuautla, Jojutla, Tlaquiltenango y Coatlán del Río, principalmente (Albarran, 2011).

Cuadro 1. Superficie sembrada y valor de producción de los 13 sistemas producto agrícola prioritarios en el estado de Morelos (SIAP, 2008).

CULTIVO		SUPERFICIE SEMBRADA	PRODUCCIÓN ESTATAL	VALOR DE LA PRODUCCIÓN
		(Ha)	(Ton)	(Miles de Pesos)
Aguacate		3,392.00	31,442.00	278,853.00
Amaranto		329.00	325	5,166.88
Arroz		1,419.40	14,036.00	60,528.10
Caña de azúcar		17,102.20	1,830,360.60	753,536.00
Cebolla		2,082.10	62,151.00	161,441.60
Cítricos	Naranja	187.50	4,430.00	9,184.00
	Limón	337.10	3,659.50	23,418.81
Durazno		2,077.00	21,364.00	203,187.10
Jitomate		2,055.98	67,093.10	290,828.82
Maíz grano		27,386.60	85,314.66	300,104.57
Nopal verdura		2,769.00	274,300.00	304,255.00
Ornamentales		1,488.60	6,478,816.52	236,321.28
Sorgo		41,425.50	179,711.50	413,525.67
Papaya		123.50	5,745.00	29,021.00
Total		98,783.48	9,058,748.88	3,069,371.83

La cadena productiva del sorgo esta catalogado como el impulso (Vázquez et al., 2003) y mantenimiento (COLPOS, 2004) para el estado de Morelos, siendo este uno de los principales cultivos para la agricultura en esta entidad. Además, de ser una planta especialmente adecuada para la producción comercial en zonas cálidas, áridas y propensas a la sequía (FAO, 1997).

Morelos ha experimentado durante décadas un proceso de crecimiento demográfico, económico y social pero con un control ambiental todavía no suficiente, a pesar de los esfuerzos realizados por la ex Secretaría de Desarrollo Ambiental (SEDAM) (Batllori, 2007), por ello, en el ámbito agrícola, se han planteado en el estado de Morelos diversas acciones para la actualización tecnológica en el cultivo de sorgo, entre las que destacan: Validar la incorporación de materia orgánica en el cultivo a través de fertilización química-orgánica (SAGARPA *et al.*, 2011).

3.4. Fertilización y Manejo de suelos

La agricultura moderna convencional, se caracteriza por el elevado empleo de insumos, han traído consigo inestabilidad para los sistemas agrícolas de producción. Manifestándose como contaminación ambiental, pérdida de la fertilidad del suelo, surgimiento de plagas, descenso de rendimiento de cosechas, necesidad de niveles más altos de agroquímicos, etc. (Blanco, 1997).

El impacto de las actividades en general, es tan grande que el cambio climático está repercutiendo en la agricultura. Los cambios microclimáticos son importantes porque el ser humano vive y realiza sus actividades en su entorno. Una simple alteración del suelo afecta a las plantas, el bosque y la diversidad biológica en general (Batllori, 2007).

A finales de la década de los 80, se evidenció que el uso prolongado de arados y rastras habían ocasionado compactación de los suelos agrícolas con desmejoramiento en la infiltración de el agua de lluvias y riego, presencia de capas endurecidas que limitan la profundidad radical y deformaciones en las raíces, disminución del espacio poroso, entre otras consecuencias. Se inicia por estas épocas intensas jornadas de transferencia de tecnología, con el objeto de concientizar y demostrar las formas de cómo solucionar esta limitante, mediante el uso de labranza vertical y siembra directa (FENALCE, 2010).

Hoy en día, los suelos están cansados, sobrecultivados, agotados, enfermos y envenenados por sustancias químicas sintéticas. En el año 1961 de 8.6 kg ha⁻¹ de fertilizante químico aplicado al suelo, en 2006 se aplicó 62.5 kg ha⁻¹ (Grain, 2012).

Una mayor actividad microbiana, por su parte, acelera la descomposición de materia orgánica y libera CO₂ a la atmósfera. A medida que este proceso ocurre durante años y décadas, y es acelerado por la labranza, la materia orgánica del suelo finalmente se agota (Forster, 2007).

La implementación de la fertilización ecológica como una forma de agricultura ecológica sostenible, donde se utilizan abonos verdes, humus, compost, o microorganismos beneficiosos, como el uso de HMA, para movilizar y reciclar nutrientes y aprovechar la fertilidad del suelo, es importante y de gran interés como una alternativa ecológica de la cual se van a generar mejores resultados que los obtenidos por el uso de fertilizantes convencionales (Barrer, 2009).

Considerando la información bibliográfica proporcionada sobre los hongos micorrízicos arbusculares, así como el cultivo de *Sorghum bicolor* L. y la problemática que conlleva la agricultura moderna a las condiciones edafológicas en la actualidad; se procederá a dar a conocer la importancia y aplicación de la realización de esta investigación.

4. JUSTIFICACIÓN

El sorgo constituye un cultivo de gran importancia, se ha considerado como un sustituto del maíz, ya que es utilizado para la obtención de harina, aceite, alcohol, glucosa y en la preparación de alimento para consumo animal. En México el consumo está en aumento, así como la producción, impulsado por el crecimiento de la ganadería y el déficit de granos forrajeros que presenta nuestro país.

Sin embargo existen restricciones principalmente edáficas que han impedido aumentar el rendimiento de este cultivo, por lo que el empleo de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) es una alternativa en la producción agrícola, dado que la asociación facilitan la toma de nutrimentos.

Las micorrizas constituyen una asociación multifuncional con las plantas, cuyos beneficios van más allá de los aspectos nutricionales. Los HMA influyen y conectan los componentes bióticos del suelo entre sí con los abióticos, dado que exploran un volumen de suelo mayor que el de la raíz sola, además de contribuir a la fertilidad del suelo, por cuanto incrementa la actividad microbiana (Blanco 1997).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares son considerados como un recurso biológico multipropósito cuyo manejo, además de los efectos sobre la productividad vegetal, genera beneficios ambientales al mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Guerrero 1996)

El uso de HMA tiene un gran potencial agrícola debido a que facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Además de ser propuestos, en la implementación de la fertilización ecológica como una forma de agricultura ecológica sostenible, siendo una alternativa importante y de gran interés de la cual se pueden generar resultados similares o mejores que los obtenidos por el uso de fertilizantes convencionales, ya que permiten a la planta usar de manera más eficiente los nutrientes del suelo (Cuenca *et al.*, 2007).

Por ello, las plantas micorrizadas con HMA poseen una ventaja importante con respecto a las plantas no micorrizadas. Sin embargo, el conocimiento sobre las interacciones entre la ecología de los HMA nativos y las condiciones edáficas es limitado. Por esta razón, el análisis de poblaciones de HMA nativos puede

conducir a un uso eficiente en la agricultura, ya que se encuentran adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del sitio donde se les requiera (Barrer, 2009).

5. HIPÓTESIS

La inoculación con micorrizas arbusculares favorece a una gran variedad de cultivos, por lo que beneficiará el crecimiento y rendimiento de grano en *Sorghum bicolor* L. con disminución de la aplicación de fertilizantes químicos.

6. OBJETIVOS

General

Determinar los efectos de la inoculación con HMA nativos y *Rhizophagus intraradices* sobre el crecimiento y rendimiento de *Sorghum bicolor* a nivel de campo en Cuautla, Morelos.

Específicos

- Evaluar la presencia de HMA en la zona de estudio para la obtención de inóculo nativo.
- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo (textura, pH potencial y activo, materia orgánica, conductividad eléctrica, fósforo disponible, nitrógeno total, humedad del suelo) en la zona de estudio.
- Evaluar el efecto de la inoculación con HMA (nativo y *Rhizophagus intraradices*) y fertilización química sobre la colonización micorrízica en raíces de plantas de *Sorghum bicolor* L.
- Evaluar el efecto de dos tipos de inóculo de HMA (nativo y *Rhizophagus intraradices*) en las características agronómicas de *Sorghum bicolor* L.
- Analizar si el efecto de la inoculación con HMA en *Sorghum bicolor* L. permite disminuir la aplicación de fertilizantes químicos.
- Comparar el rendimiento de grano en *Sorghum bicolor* L. en tratamientos inoculados y no inoculados con HMA.

7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se realizó la investigación en campo en la localidad de Cuautla, Morelos, México entre las coordenadas 511154 m E, 2080165 m N y con altitud de 1330 m snm.

Localización

El estado de Morelos, presenta una su extensión de 4,958 km, entre la cual se ubica el municipio de Cuautla, Morelos localizado geográficamente entre los paralelos 18° 49' de latitud norte y los 98° 57' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1,300 m snm (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2005).

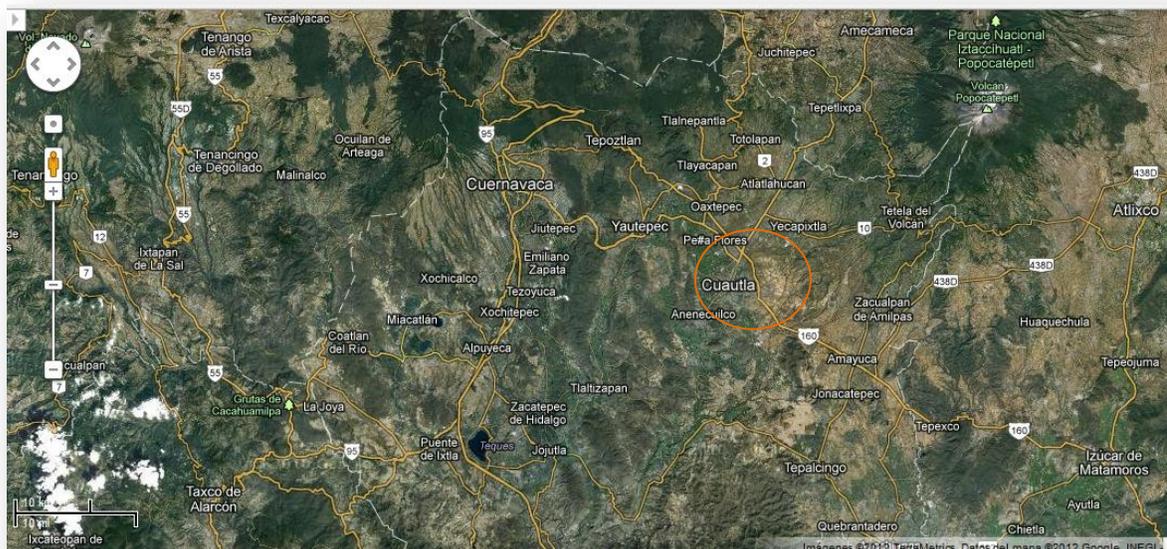


Figura 5. Ubicación de zona de estudio (Cuautla, Morelos), tomado de <http://maps.google.com.mx/>.

Suelo

De acuerdo con el paisaje fisiográfico, se le ha dividido en dos provincias naturales: la primera se ubica al norte, oriente y sur del estado y se caracteriza por formaciones montañosas pertenecientes a la Sierra Volcánica Transversal, cuyos orígenes se remontan al cretácico; ubicándose en esta provincia el municipio de

Cuautla. Por su origen geológico, en el estado predominan las rocas ígneas del cuaternario, en su mayor parte extrusivas; entre ellas destacan los basaltos, andesitas, y materiales cineríticos como arenas y cenizas volcánicas (Aguilar, 1988).

En el municipio de Cuautla se presentan diferentes tipos de suelo, entre los que se encuentran: litosoles, vertisoles y leptosoles; estos últimos utilizados para agricultura de riego y temporal (CGSEGI, 1981).

Clima

Tiene un clima semicálido y semihúmedo con invierno poco definido, con mayor sequía a finales de otoño, invierno y principios de primavera; registra una temperatura media anual de 22°C, con una precipitación anual de 915 mm.

En el municipio de Cuautla, la precipitación oscila de 800 a 1,100 mm anuales; el periodo de lluvias es predominante de junio a octubre y ocurre una sequía intraestival durante el mes de agosto (CGSEGI, 1981).

Cuencas hidrológicas

El estado de Morelos queda comprendido en parte de la región hidrológica Cuenca del Balsas, representado al interior del estado por las cuencas de los ríos Atoyac y Amacuzac. La cuenca del Río Atoyac tiene una superficie de 653.17 km² correspondiente a su porción morelense y cuenta con una sola subcuenca que corresponde al Río Nexapa; mientras tanto, la Cuenca del Río Grande de Amacuzac es la que ocupa la mayor parte del estado al cubrir una superficie de 4,303.39 km²; tiene como subcuencas intermedias las de los ríos: Cuautla, Yautepec, Apatlaco, Tembembe, Alto Amacuzac y Bajo Amacuzac (Aguilar, 1988).

Vegetación

Morelos se sitúa justo en la zona de transición entre las regiones bióticas llamadas Neártica y Neotropical. Al norte del estado le corresponde la región neártica, cuya vegetación se distribuye a lo largo de la sierra y se caracteriza por tener varios tipos de bosques de clima frío y templado, comúnmente denominados coníferas. Dentro de estas asociaciones vegetales destacan: el bosque de pino, bosque de oyamel, bosque de cedro-tascate, bosque de encino, bosque de pino-encino (mixto) y bosque mesófilo de montaña.

Al sur se ubica la región neotropical, en la cual se localiza el municipio de Cuautla, con vegetación propia de climas cálidos y húmedos; esta zona biótica se localiza por debajo de los 1,650 metros sobre el nivel del mar. Su vegetación predominante es selva baja caducifolia (o bosque tropical caducifolio) y es la asociación vegetal que presenta una mayor distribución en el estado, ocupando principalmente el centro y sur. Entre las especies más representativas de la selva baja morelense se concentran la acacia, el huizache, el ocotillo, el cuauhote, el amate amarillo, el tepehuaje, el copal; en áreas de mayor sequedad se encuentra el guayabito y el garambullo, y en áreas cuya vegetación original ya ha sido afectada es común encontrar el mezquite y la palma de sombrero (Aguilar, 1988).

8. MÉTODOS Y MATERIALES

8.1. Campo

8.1.1. Toma de muestras de suelo

Para evaluar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo antes de la siembra se efectuó un muestreo en la parcela, en la zona de estudio que cuenta con una superficie de 4 ha, en la cual se tomaron 20 submuestras a una profundidad de 20 cm. Para ello se realizó un recorrido sobre el terreno en zig-zag, tomando muestras en cada vértice donde se cambie la dirección del recorrido para formar una muestra compuesta que fue sellada y trasladada a laboratorio (Brady, 1999; Jackson, 1964).

El suelo se seco a temperatura ambiente, se tamizo (tamiz de 2mm), y almaceno en botes de plástico etiquetados correctamente con datos como sitio, fecha, profundidad. Además de colectarse una muestra compuesta para la producción del inóculo nativo sin la aplicación de tratamientos posteriores (Bertseh, 1995). Asimismo, se colectaron diez raíces de plantas, distribuidas en la parcela para la evaluación de colonización de HMA nativos antes de la siembra.

8.1.2. Diseño experimental.

Se estableció un diseño experimental con 14 unidades experimentales en un área de 96 m², constituido por 7 tratamientos con dos repeticiones distribuidas completamente al azar, utilizándose un diseño de bloques al azar (Sánchez, 2000). Los tratamientos se describen a continuación (cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos empleados en el experimento.

Tratamiento	Descripción
1. Testigo (F)	Fertilización química completa: Urea (100 kg ha ⁻¹), potasa (80 kg ha ⁻¹), fosfato diamónico (26 kg ha ⁻¹) y sulfato de amonio (16 kg ha ⁻¹)
2. Micorriza nativa (Nt)	Inoculación con HMA nativo.
3. <i>Rhizophagus intraradices</i> (Ri)	Inoculación con HMA <i>Rhizophagus intraradices</i>.
4. Nt+lombricomposta (Nt+L)	Inoculación con HMA nativo adicionando lombricomposta al 1%.
5. Ri+lombricomposta (Ri+L)	Inoculación con HMA <i>Rhizophagus</i>

6. Nt+ ½ concentración fertilizante químico (Nt+F)
7. Ri+ ½ concentración fertilizante químico (Ri+F)

intraradices **adicionando lombricomposta al 1%.**
Inoculación con HMA nativo junto con la aplicación de fertilizantes químicos al 50% de la concentración utilizada en la región.
Inoculación con HMA *Rhizophagus intraradices* junto con la aplicación de fertilizantes químicos al 50% de la concentración utilizada en la región.

Se establecieron parcelas de 6 m² con 4 surcos y una distancia entre ellos de 70 cm, así como 2 m de largo para cada uno de los tratamientos (figura 6); en la localidad de Cuautla, Morelos, tomando en cuenta la fecha de siembra (23 de junio del 2011) y cosecha (noviembre del 2011) de acuerdo al temporal de esta zona.



Figura 6. Establecimiento de las parcelas de cultivo para cada tratamiento.

8.1.3. Producción del inóculo de HMA

El HMA que se utilizó fue *Rhizophagus intraradices* (producido en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM), la semilla de *Sorghum bicolor* L. híbrido Níquel fue inoculada al momento de la siembra. El inóculo HMA nativo se obtuvo del suelo recolectado en el sitio de estudio, masificado con maíz como planta trampa. En la figura 7, se muestra la semilla de sorgo y los inóculos de HMA utilizados en la investigación. La inoculación se aplicó en relación de 0.5 g de inóculo por semilla.

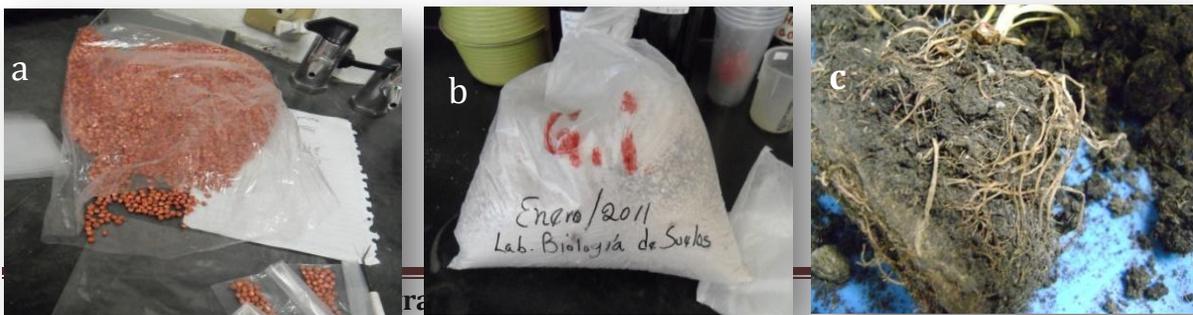


Figura 7. Inóculo de HMA a) semilla de sorgo, b) inóculo *Rhizophagus intraradices*, c) inóculo nativo.

8.1.4. Siembra y fertilización química

La siembra se llevo a cabo según las indicaciones locales que consiste en efectuar un barbecho; realizar el surcado en forma perpendicular a la pendiente del terreno, dejando una separación de 70 cm entre surcos (figura 8); sembrar al chorrillo en el fondo del suco (Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, 1997). La lombricomposta fue incorporada a 20 cm de profundidad aproximadamente y homogenizada en el suelo, en las parcelas de los tratamiento que contendrían este biofertilizante, antes de la siembra. Se sembraron 70 semillas de sorgo por metro lineal y alrededor de 540 semillas por parcela.



Figura 8. Siembra de sorgo con a) Labranza moderna (tratamiento F), b) Manual (tratamientos con HMA).

El fertilizante químico fue aplicado al momento de la siembra y un mes después de la siembra según fuera el tratamiento. Además de fumigarse (Atrazina) a los tres días después de la siembra y un mes después contra maleza como se muestra en la figura 9, esto solamente se aplico al tratamiento sin HMA (F).

a

b

c



Figura 9. Actividades realizadas en la agricultura convencional, a) primera fumigación, b) segunda fertilización, c) segunda fumigación.

El inóculo de HMA nativo y de *Rhizophagus intraradices* fue aplicado simultáneamente con la semilla y distribuido a lo largo del surco (figura 10).



Figura 10. Siembra de semilla de sorgo e inoculación con HMA.

La fertilización química aplicada fue según la dosis utilizada en la zona, que consiste en Urea (100 kg ha^{-1}), potasa (80 kg ha^{-1}), fosfato diamónico (26 kg ha^{-1}), además del fertilizante sulfato de amonio (16 kg ha^{-1}).

8.1.5. Muestreo de plantas

Durante el desarrollo de las plantas se muestrearon plantas de sorgo de cada tratamiento, tres meses después de la siembra y al momento de la cosecha (figura 11), la cual se efectúa cuando llega a la madurez fisiológica dentro de 90-130 días (Nar, 2008). Se recolectaron cinco plantas con su respectiva rizósfera de los surcos centrales, por cada parcela sembrada para realizar la evaluar porcentaje de colonización HMA, determinar número de esporas y evaluar las características agronómicas en sorgo (Ferrera, 1993).

a





Figura 11. Muestreo de plantas de sorgo a) tres meses después de la siembra, b) cosecha.

Además de recolectar todos los individuos de los surcos

centrales en la cosecha, para evaluar las características de rendimiento obtenido en cada tratamiento (figura 12).

Figura 12. Cosecha de cultivo de sorgo a) mecánica, b) manual.

Tres meses después de la siembra, en cada unidad experimental se seleccionaron diez ejemplares de sorgo, los cuales se colectaron muestras foliares correspondientes a la hoja seguida de la hoja bandera, con la que se formaron muestras compuestas de cada individuo, las cuales fueron transportadas en bolsas de papel estraza etiquetadas para su posterior análisis en el laboratorio. Las muestras foliares se secaron a una temperatura aproximada de 65-70°C, en una estufa, hasta obtener peso constante. Ya seca la muestra, se pasó por un molino de acero inoxidable (marca KRUPS) y se almacenaron en sobre-bolsa, para su posterior análisis.



8.2. Laboratorio

8.2.1. Análisis físicos y químicos del suelo

La determinación de los parámetros del suelo se realizó con los siguientes métodos:

- Textura por el método de Bouyoucos (1963).
- pH activo en agua relación 1:2 por el método potenciómetro (Jackson, 1964).
- pH potencial en solución salina KCl 1N en relación 1:2, por el mismo método que el activo.
- Conductividad eléctrica relación 1:5, con conductímetro (Richards, 1954).
- Materia orgánica por el método de Walkley y Black (figura 13), (Jackson, 1964).
- Determinación de P-disponible (Bray y Kurtz, 1945).

- Determinación de N-total por el método Kjeldhal (figura 13) modificado para incluir nitratos (Bremmer J. M. 1965).



Figura 13. Determinación de a) nitrógeno total, b) materia orgánica.

8.2.2. Análisis químico en tejido vegetal

El análisis en tejido vegetal se realizó con los siguientes métodos:

- Determinación de Nitrógeno total por el Método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965, Jackson, 1982).
- Determinación de P vegetal por digestión con HNO_3 y HClO_4 (Allan J. E., 1971).

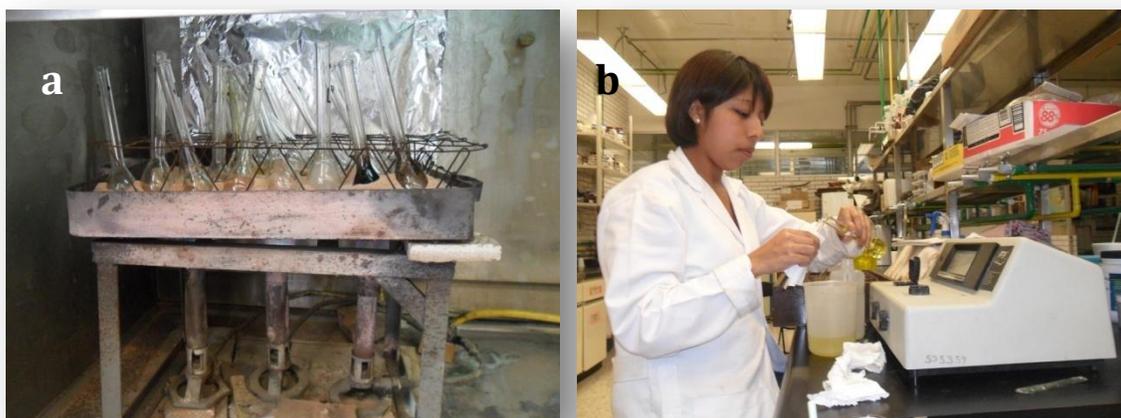


Figura 14. Análisis químico de tejido foliar a) Digestión para determinación de nitrógeno total, b) Determinación de fósforo foliar.

8.2.3. Evaluación del número de esporas en suelo

La extracción de esporas de HMA se llevo a cabo por medio de la técnica de tamizado húmedo y decantación según Gerdemann y Nicolson (1963). El cual consiste en pesar 10 g de suelo seco para después colocarlo en un vaso de precipitado de 1 L, adicionarle agua corriente y agitarlo vigorosamente. Posteriormente se pasa el sobrenadante en una serie de tamices ordenados del mayor al menor (250 μm , 149 μm y 35 μm), se recoge el contenido de cada tamiz con agua destilada en cajas petri para posteriormente observar al estereoscopio (figura 15), (Gerdemann y Nicolson, 1963).



Figura 15. Técnica tamizado húmedo y decantación, según Gerdemann y Nicolson (1963).

El resultado se obtiene en número de esporas por 100 g de suelo seco según la siguiente fórmula:

$$\text{No. de esporas en 100 g de suelo seco} = \frac{(\text{no. de esporas contadas})}{(\text{g de suelo seco})} \times \frac{100}{100 \text{ g de suelo húmedo}}$$

8.2.4. Evaluación de colonización radical

Se realizó la evaluación del % de colonización total micorrízica en raíz según la tinción de raíces con el método de azul de tripano, en plantas recolectadas en el sitio de estudio. Esta técnica, consiste en el clareo, blanqueo, acidificación, la tinción con azul de tripano, decoloración con lactoglicerol y su posterior observación al microscopio, anotando el número de micelio, arbusculos y vesículas (Phillips y Hayman, 1970).

El porcentaje de colonización micorrízica arbuscular por estructuras y total, se obtienen mediante las formulas:

$$\% \text{ de colonización total} = \frac{\text{No. de segmentos colonizados}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ de colonización por arbusculos} = \frac{\text{No. de segmentos con arbusculos}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

No. de segmentos totales

$$\% \text{ de colonización por vesículas} = \frac{\text{No. de segmentos con vesículas}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

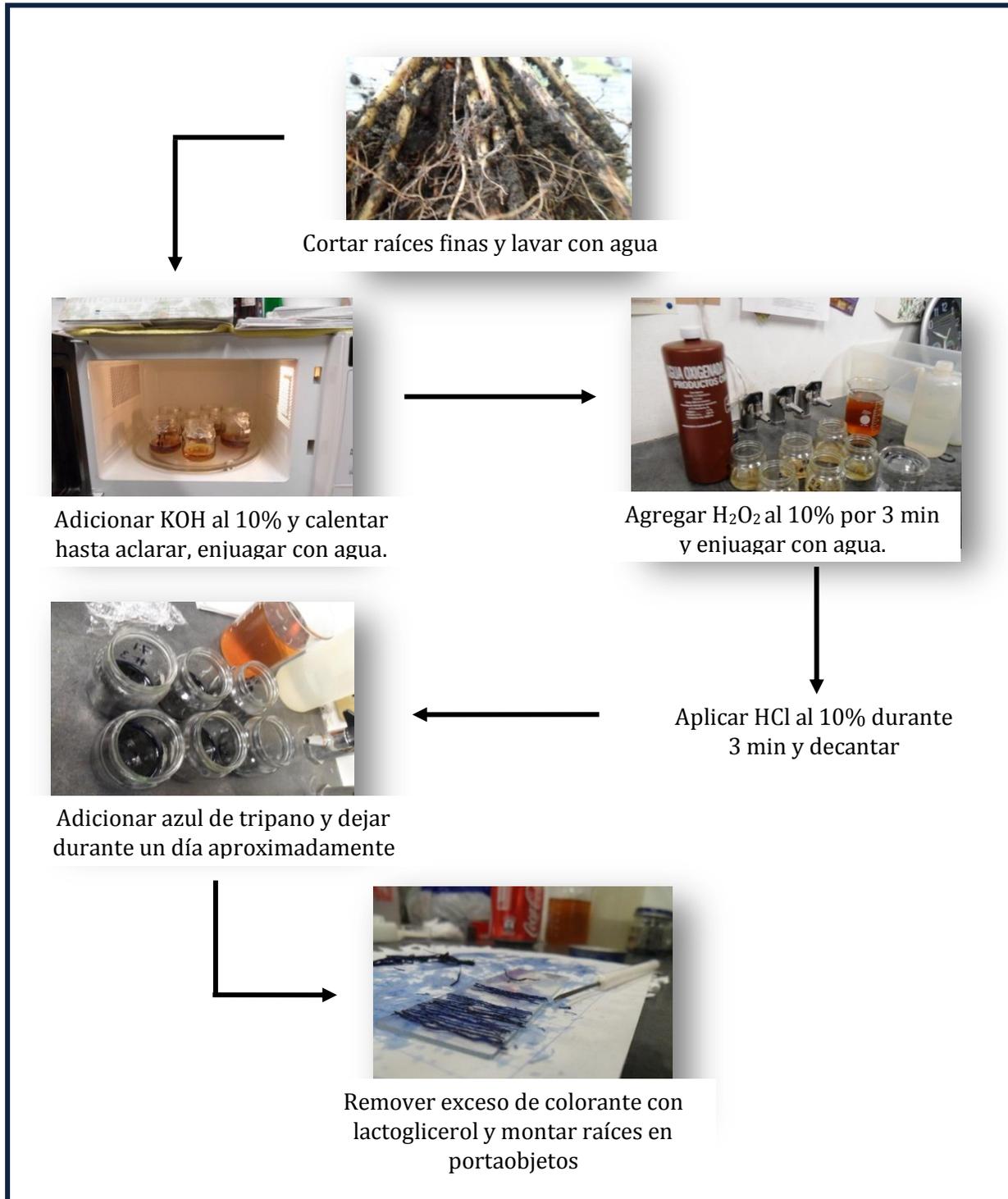


Figura 16. Clareo y tinción de raíces, según Phillips y Hayman (1970).

8.2.5. Evaluación rendimiento y crecimiento del sorgo

Se midió la altura de diez plantas de sorgo por cada parcela, dos veces por mes para monitorear su crecimiento; estas se midieron con ayuda de un flexómetro.



Figura 17. Medición de altura en sorgo durante el desarrollo del cultivo.

Así como, en las plantas recolectadas en el primer muestreo (tres meses después de la siembra) y la cosecha, se determinaron características agronómicas como: altura y peso de la planta en fresco; longitud y peso de panoja; ancho, peso y altura de tallo y número de hojas. Además, de evaluar los componentes de rendimiento como: peso foliar, peso de 100 granos, peso de cada panoja. Se estimó el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) ajustado a 14% de humedad (Secretaría de Ganadería y Desarrollo Rural, INIFAP. 1997).



Figura 18. Mediciones realizadas para determinación de características agronómicas.



Figura.19. Obtención de mediciones para rendimiento de cultivo.

8.3. Análisis estadístico

Los datos se sometieron al análisis de varianza, mediante un diseño de bloques al azar, posteriormente la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p=0.05$). Utilizando el software de análisis estadístico StatGraphics (Cervantes, 2006).

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Propiedades físicas y químicas del suelo

En el cuadro 3, se presentan las variables edáficas determinadas en el sitio de estudio, donde se obtuvo un suelo con 44.3 % de arcilla, 40 % de arena y 15.7 % limo. La textura dentro de las propiedades físicas del suelo utilizadas como indicadores de calidad se relaciona con el arreglo de las partículas, poros y estabilidad de agregados, refleja la manera en que el suelo acepta, retiene y transporta agua a las plantas (Gavande, 1982). La clase textural encontrada en la zona de estudio, usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico y pegajoso al mojarse, lo que perjudica la penetración de las raíces. Presenta baja permeabilidad al agua, así como elevada retención de agua y de nutrientes (Domínguez, 1997). Por otro lado la conductividad eléctrica tuvo valores con efectos despreciables de salinidad según la NOM-021-RECNAT-2000; la determinación de esta propiedad, es una forma indirecta de medir la salinidad de extractos del suelo, ya que se encuentra muy relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes y su contenido de sólidos disueltos. (Vázquez y Bautista, 1993). En este suelo, se presentaron bajos efectos de salinidad debido a la aplicación de fertilizantes químicos, fungicidas y otros aditamentos químicos utilizados en la agricultura moderna.

Se encontró al pH activo entre 6.91 y 6.85 clasificado según la NOM-021-RECNAT-2000 como neutro y valores de pH potencial de 5.8 a 5.71 clasificado como moderadamente ácido, siendo estos intervalos óptimos para la disponibilidad de nutrimentos esenciales para el cultivo de sorgo (FELANCE, 2010a). Los porcentajes obtenidos de nitrógeno total y fósforo extractable, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 fueron clasificados como bajos; lo que posiblemente se deba a porcentajes de materia orgánica clasificados como valores medios según la NOM-021-RECNAT-2000, debido a la labranza moderna utilizada en la zona de estudio (Díaz *et al.*, 1980).

Cuadro 3. Variables edáficas evaluadas en la zona de estudio

Propiedades	Resultado	Clasificación según NOM-021-RECNAT-2000
Textura [*]	Arcillosa	
pH activo [♥]	6.91-6.85	6.6-7.3 Neutro
pH potencial [♥]	5.71-5.77	5.1-6.5 Moderadamente ácido
Materia Orgánica [§]	1.84-2.52 %	1.6-3.5 % Medio
Conductividad eléctrica ^{&}	0.0018 dS*m ⁻¹	< 1.0 dS*m ⁻¹ a 25 °C
P-Disponible [☼]	0.17 mg*Kg ⁻¹	<15 mg*Kg ⁻¹ Bajo
N-Total [♦]	0.089 %	0.05-0.10 % Bajo

♣Bouyoucus; ♥Potenciometro (Jackson); §Walkley y Black; & Conductimetro; ♦Kjeldhal modificado; ☼Bray y Kurtz.

9.2. Altura de plantas de sorgo

A partir de los datos recolectados quincenalmente de la altura de las plantas de *Sorghum bicolor* L. bajo los siete tratamientos (figura 19), se puede afirmar que el tratamiento F, en general tuvo un mayor crecimiento en las primeras fechas de experimentación (11-septiembre). Observándose en las últimas fechas una altura semejante en los tratamientos F, Nt+F y Ri+F.

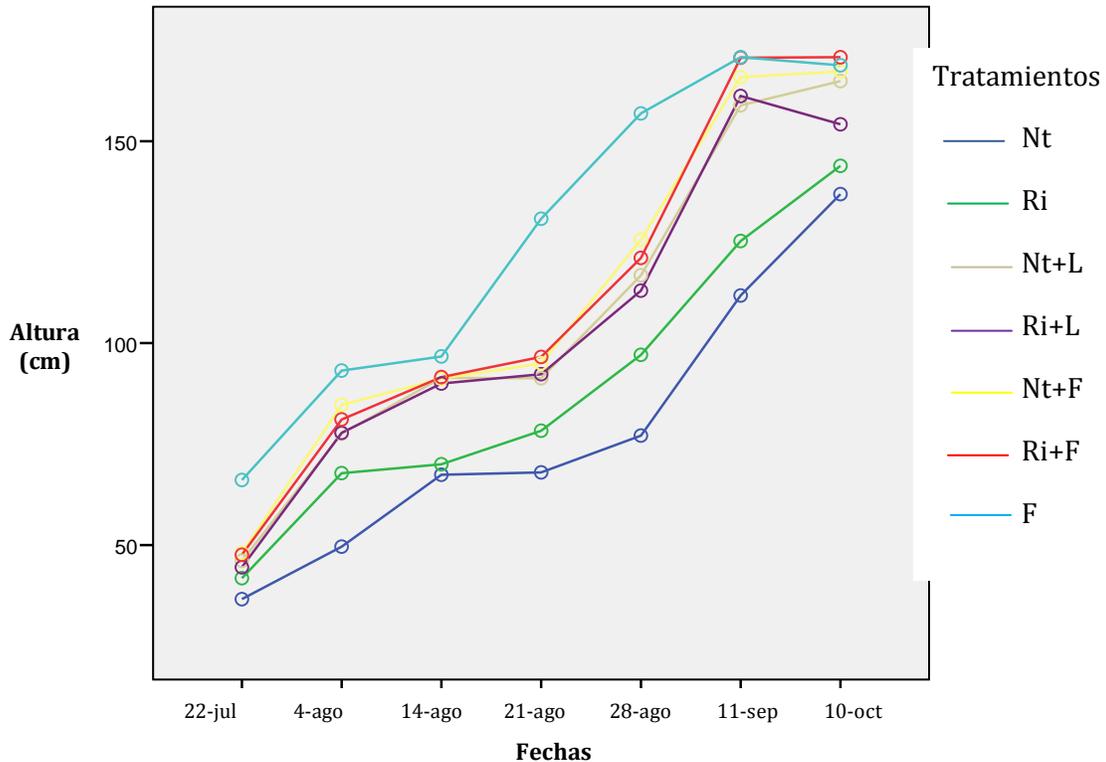


Figura 20. Comportamiento de alturas en plantas de *Sorghum bicolor* entre tratamientos durante su crecimiento. Micorriza nativa (Nt), *Rhizophagus intraradices* (Ri), Nt+lombricomposta (Nt+L), Ri+lombricomposta (Ri+L), Nt+ ½ concentración fertilizante químico (Nt+F), Ri+ ½ concentración fertilizante químico (Ri+F), Testigo 100% fertilizante (F).

El crecimiento del sorgo usualmente toma de tres a cuatro meses desde la germinación hasta la madurez. Dividiéndose principalmente en tres fases de desarrollo: a) Etapa vegetativa consiste de la emergencia de la diferenciación floral; b) Etapa de desarrollo de la panoja, abarca de la diferenciación floral a la antesis; c) Etapa de llenado de grano, abarca de la antesis hasta el final del periodo de llenado de grano (Ratikanta, 1986). En base a esto, el comportamiento obtenido se debe a que en la última etapa de desarrollo del sorgo, el HMA aplicado logro tener un mayor efecto en el desarrollo y crecimiento del cultivo. La micorrización es un proceso que requiere el suministro de C, inicialmente a costa del sacrificio, en crecimiento de su hospedero (Peña, 2002). Además, existen antecedentes que la labranza en el suelo y la agricultura moderna tiene efectos

positivos sobre el funcionamiento de los HMA (Kurle y Pflieger, 1994; Jasper et al., 1989).

9.3. Colonización micorrízica

El cuadro 4 muestra los porcentajes de colonización tanto de vesículas, arbusculos, así como colonización total en las raíces de las plantas de *Sorghum bicolor* en los tratamientos a 30 días después de la siembra. Las plantas del tratamiento Ri y Nt+F exhibieron en su sistema radical el valor porcentual más alto en colonización total siendo este de un 79 % en ambos tratamientos y por vesículas con un 24 % el tratamiento Ri. Según la prueba de comparación de medias de Tukey, el porcentaje de colonización micorrízica total presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Mientras que en la colonización por arbusculos y vesículas no se encontraron tales diferencias ya que la adaptación y establecimiento de los HMA a las condiciones edáficas aumenta al paso del tiempo (Colín, 2000).

Cuadro 4. Porcentaje de colonización en plantas recolectadas de *Sorghum bicolor* L. a los 30 días después de la siembra.

Variables fúngicas	Total	%	
		Arbusculos	Vesículas
Nt	74.18 ^a	7.96 ^a	15.62 ^a
Ri	78.86 ^a	7.20 ^a	24.09 ^a
Nt+L	78.44 ^a	10.41 ^a	23.87 ^a
Ri+L	59.67 ^a	3.41 ^a	13.13 ^a
Nt+F	78.61 ^a	6.24 ^a	23.76 ^a
Ri+F	71.26 ^a	7.54 ^a	22.08 ^a
F	58.76 ^a	7.28 ^a	19.04 ^a
p<0.05	0.0064	0.3809	0.14223

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

Los porcentajes de colonización micorrízica evaluadas a plantas recolectadas durante la cosecha de *Sorghum bicolor* L., mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en colonización por arbusculos (figura 20). Presentándose el valor promedio más alto (11 %) en el tratamiento Ri+L. Los arbusculos indican el establecimiento exitoso y funcional de la simbiosis (Monroy y García, 2009), ya que son las estructuras fúngicas en los que ocurren los sitios de intercambio de nutrientes entre los simbiosistas (Alarcón, 2008), participando principalmente en plantas de sorgo en la etapa de llenado de grano, durante la cual existe un incremento en el peso de la planta ocurriendo esto principalmente a nivel de grano (Ratikanta, 1986). Con respecto al porcentaje total de colonización micorrízica, las plantas del tratamiento Nt+F exhibieron en su sistema radical el valor porcentual más alto, siendo este de un 88%.

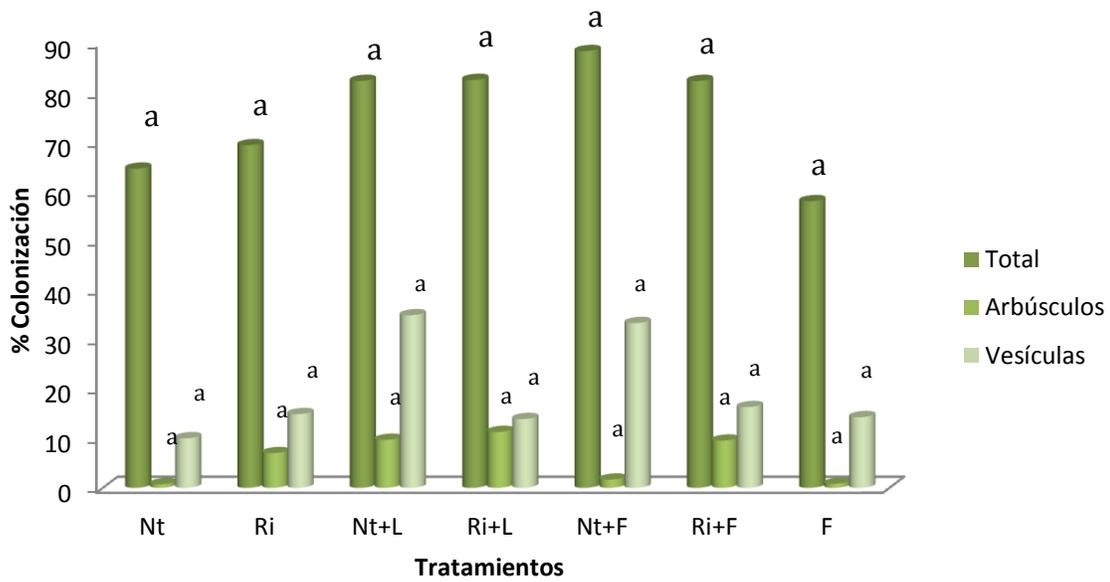


Figura 21. Porcentaje de colonización por vesículas, hifas y total en plantas recolectadas de *Sorghum bicolor* durante la cosecha (Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

El grado de colonización micorrízica depende de varios factores, entre ellos está la planta hospedera, el hongo y las condiciones edafológicas que incluye el manejo agronómico al que estuvo sometido el agrosistema antes de la implantación (Toro y López-Hernández, 1998). En sus trabajos, Dodd *et al.* (1990), Bethlenfalvay y Linderman (1992), Sieverding (1991) y Tarafdar y Rao (2002) indicaron que el tipo de manejo agronómico que haya recibido el sistema puede favorecer o no la abundancia de propágulos de la MA, siendo este último caso el que se mostró en las raíces de los tratamientos realizados.

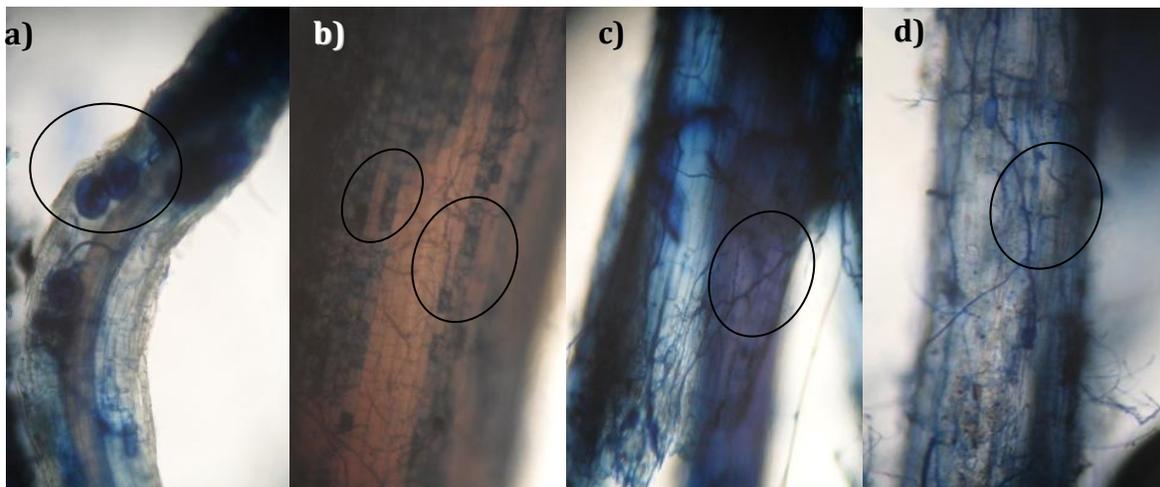


Figura 22. Estructuras fúngicas de hongos micorrizógenos arbusculares observados en raíces de *Sorghum bicolor* L., (a) vesículas, (b) arbusculos e (c y d) hifas.

El grado de colonización está directamente relacionado con el porcentaje de longitud de raíz micorrizada de las plantas. Cabe destacar que el tratamiento F presentó colonización micorrízica (58 %) a pesar de no haber sido inoculado con HMA. Posiblemente se deba, a que la colonización radical por MA puede producirse a partir de los siguientes propágulos infectivos: esporas y micelio de los hongos Glomales; raicillas de las plantas colonizadas por micorrizas nativas presentes en el suelo (Sieverding, 1991). La figura 21 muestra algunas estructuras observadas en raíces de *Sorghum bicolor*.

Por otro lado, según la prueba de comparación de medias de Tukey el número de esporas encontradas en la rizósfera, exhibió diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos; siendo Ri+F el que mostró el número más alto entre los tratamientos (figura 22). La variación entre el número de esporas entre los tratamientos, se debe a la densidad de las mismas varía según las condiciones del medio, como humedad, temperatura, además de la interacción del hongo con el hospedero (Peña, 2002).

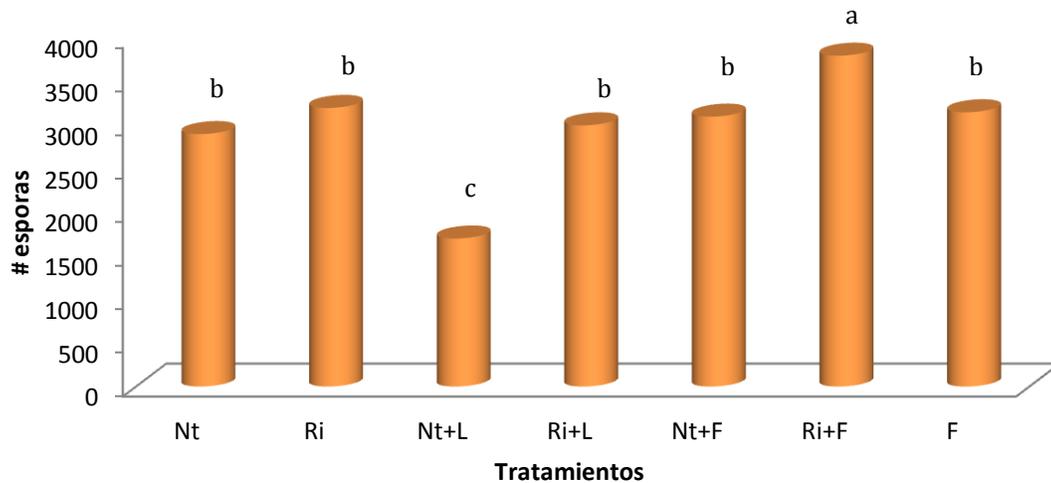


Figura 23. Número de esporas en 100 g de suelo en rizósfera de plantas recolectadas de *Sorghum bicolor* L. a 30 días después de la siembra (Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

9.4. Variables agronómicas

El cuadro 5, muestra los resultados obtenidos en diversas variables agronómicas realizadas en el cultivo de sorgo en el muestreo realizado treinta días después de la siembra. En las variables altura de planta y tallo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$); esto se debe principalmente a que los HMA facilitan la asimilación de nutrientes a las plantas, lo que se traduce en la promoción de su

crecimiento (Gardezi 1994; Sylvia, 1999), lo cual refleja un efecto positivo aun sin la aplicación del 100 % de fertilizantes químicos.

Cuadro 5. Características agronómicas de *Sorghum bicolor* fertilizados e inoculados con HMA nativo y *Rhizophagus intraradices* a los 30 días después de la siembra.

Variables Agronómicas	Altura planta	Altura panoja	Ancho panoja	Peso panoja	Ancho tallo	Altura tallo	Peso tallo
	-----cm-----			g	-----cm-----		g
Nt	145.0 ^a	18.5 ^b	4.1 ^b	19.67 ^b	0.96 ^{bc}	126.50 ^a	84.0 ^c
Ri	141.3 ^a	17.9 ^b	3.9 ^b	21.33 ^b	0.89 ^{bc}	123.42 ^a	85.3 ^c
Nt+L	155.0 ^a	23.3 ^{ab}	6.5 ^a	52.67 ^{ab}	1.25 ^{abc}	131.67 ^a	180.3 ^{abc}
Ri+L	157.0 ^a	20.2 ^b	5.3 ^{ab}	32.33 ^b	0.79 ^c	136.83 ^a	126.7 ^c
Nt+F	156.3 ^a	23.3 ^{ab}	5.9 ^{ab}	33.33 ^b	1.30 ^{ab}	133.00 ^a	193.3 ^{abc}
Ri+F	156.3 ^a	21.9 ^{ab}	5.3 ^{ab}	42.67 ^{ab}	1.10 ^{abc}	134.42 ^a	157.3 ^c
F	170.7 ^a	26.8 ^a	6.9 ^a	69.99 ^a	1.54 ^a	143.83 ^a	280.8 ^a
P<0.05	0.1527	0.005	0.0004	0.0012	0.0003	0.4339	0.000

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (p > 0.05).

Las plantas a los 30 días después de la siembra del tratamiento Nt+L mostraron el valor promedio más alto en las variables evaluadas en la panoja, como altura (23.3 cm), ancho (6.5 cm) y peso (52.67 g), al ser comparados con el resto de los tratamientos micorrizados. Existen pocos estudios con respecto a la interacción HMA y lombricomposta en el crecimiento vegetal; García Carmona (1996) menciona que en cultivo de cebolla y maíz, la combinación de lombricomposta y HMA permite un mayor aprovechamiento de nutrientes. Por otro lado, Velazco (1996) encontró que, con la adición de lombricomposta e inoculación con HMA se incremento el rendimiento en tomate de cascara. Presentándose sinergismo entre el HMA y la lombricomposta como el caso de esta investigación, produciendo efectos positivos en variables agronómicas en plantas de *Sorghum bicolor* L.

Con respecto al ancho (1.3 cm) y peso (193.3 g) de tallo el tratamiento Nt+F fue el que mostró los valores más elevados de los tratamientos inóculados. Las plantas del tratamiento F exhibieron el valor promedio más alto en todos los parámetros agronómicos; sin embargo en la variable ancho de panoja, no existió diferencia significativa entre el tratamiento F y Nt+L con efecto positivo. Por el contrario los tratamientos Nt y Ri mostraron un efecto negativo en todas las variables agronómicas evaluadas, obteniendo estas el valor promedio más bajo. Posiblemente, esto se deba a que las condiciones edafológicas no permitieron que la inoculación con HMA por sí solos, causara efecto positivo en características del cultivo de sorgo.

En el cuadro 6 se muestran las variables agronómicas evaluadas a plantas de sorgo cosechadas, la cuales se encontraban en la madurez fisiológica del grano; mostrándose diferencia significativa en cada una de ellas, según la prueba de

comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Las plantas del tratamiento Nt+F exhibieron el valor promedio más alto en las siguientes variables: peso de la planta (103 g), número de hojas (8), peso (55 g) y ancho de la panoja (7 cm), al ser comparados con el resto de los tratamientos micorrizados. Con respecto a la altura de la planta (165 cm), ancho (1.34 cm) y peso del tallo (60.2 g), el tratamiento Nt+L fue el que mostró los valores más elevados de los tratamientos micorrizados.

Cuadro 6. Características agronómicas de *Sorghum bicolor* L. fertilizados e inoculados con HMA nativo y *Rhizophagus intraradices* en cosecha.

Variab Agronómicas	Peso planta	Altura planta	Altura panoja	Ancho panoja	Peso panoja	Ancho tallo	Altura tallo	Peso tallo	# Hojas
	g	cm			g	cm		g	
Nt	49.9 ^b	131.3 ^{bc}	17.9 ^a	4.4 ^b	27.2 ^b	0.99 ^{a b}	113.33 ^b	22.8 ^b	8.2 ^a
Ri	54.8 ^b	101.8 ^c	18.8 ^a	3.9 ^b	26.6 ^b	0.99 ^{a b}	83.05 ^{ab}	28.2 ^b	5.8 ^{ab}
Nt+ L	95.7 ^{ab}	165.1 ^{ab}	22.6 ^a	5.9 ^{ab}	35.5 ^{ab}	1.34 ^a	142.10 ^a	60.2 ^a	7.5 ^{ab}
Ri+L	77.9 ^{ab}	163.8 ^{ab}	18.9 ^a	5.6 ^{ab}	36.7 ^{ab}	0.79 ^b	144.85 ^a	41.2 ^{ab}	7.6 ^{ab}
Nt+F	103.0 ^a	161.8 ^{ab}	22.0 ^a	7.0 ^a	55.0 ^a	1.24 ^a	139.81 ^a	48.0 ^{ab}	8.3 ^a
Ri+F	91.8 ^{ab}	133.9 ^{abc}	22.9 ^a	5.1 ^{ab}	48.3 ^{ab}	1.20 ^a	111.09 ^{ab}	43.5 ^{ab}	7.5 ^{ab}
F	122.4 ^a	174.5 ^a	23.4 ^a	5.9 ^{ab}	58.3 ^a	1.25 ^a	151.10 ^a	64.1 ^a	5.5 ^b
p<0.05	0.0001	0.000	0.044	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.005

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

De manera general, el tratamiento F presentó los valores promedio más altos en las variables peso (122 g) y altura (174.5 cm) de planta, altura (23.4 cm) y peso (58.3 g) de panoja, altura (151 cm) y peso (64.1 g) de tallo, dado que dicho tratamiento contiene la dosis de fertilización química completa. Mientras que los tratamientos Nt y Ri mostraron los valores más bajos.

Cabe destacar que se puede argumentar la respuesta efectiva a los valores de las diferentes variables agronómicas evaluadas para el tratamiento F, puesto que además de ser fertilizado con la dosis completa que el agricultor utiliza para este cultivo, también mostró colonización micorrízica (58 %). Que como ya se había explicado, la colonización radical por MA puede producirse por esporas y micelio de los hongos micorrizógenos, así como raicillas de las plantas colonizadas por micorrizas autóctonas presentes en el suelo (Sieverding, 1991).

El efecto de la fertilización en la micorrización no está suficientemente estudiado; se sabe que depende de numerosos factores (Sieverding, 1991; Louis y Lim, 1988): clase de fertilizante, características de suelo, cultivo, HMA autóctono en el suelo, etc. La fertilización química aplicada puede disminuirse de un 50 a 80 %, ya que la MA mejora la absorción de nutrientes del suelo. Estudios realizados por Trujillo (2008) en el estado de Morelos, arrojaron que la interacción de la fertilización química y la inoculación con HMA disminuyen el costo de producción y aumenta el rendimiento del cultivo de maíz, además de mostrar que este tipo de interacciones presenta un efecto positivo mayor que la fertilización completa.

Además, existen pocos estudios sobre la efectividad de poblaciones de HMA nativas, Blanco y Rowe (1994) encontraron desde poblaciones muy ineficientes hasta muy eficientes para promover el crecimiento de frijol. Aun así, se prefiere el manejo de los hongos nativos, pues estos últimos están adaptados a las condiciones edáficas del sitio donde son inoculados (Guerra, 2008).

9.5. Componentes de rendimiento

Los resultados expuestos en el Cuadro 7, corresponden a las variables peso de foliar, peso de grano, peso de 100 semillas en los tratamientos, mostrando una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) en cada una de ellas. El tratamiento Nt+F obtuvo los valores promedio más altos en estas variables en lo que se refiere a tratamientos inoculados con HMA. Las plantas del tratamiento F presentaron el valor promedio más alto en las variables peso de grano (1.5 kg) y peso de cien semillas (3.6 g); sin embargo en la variable peso de grano no existió diferencia significativa entre el tratamiento F y Nt+F.

Variables de rendimiento	Peso foliar	Peso de grano	Peso de 100 semillas
	-----kg-----		g
Nt	2.03 ^b	0.747 ^c	3.217 ^b
Ri	2.45 ^{ab}	0.888 ^{cb}	3.192 ^b
Nt+L	3.48 ^a	1.199 ^{abc}	3.419 ^{ab}
Ri+L	3.31 ^a	1.121 ^{abc}	3.350 ^{ab}
Nt+F	3.65 ^a	1.449 ^a	3.462 ^{ab}
Ri+F	3.61 ^a	1.350 ^{ab}	3.217 ^b
F	3.43 ^a	1.495 ^a	3.660 ^a
p<0.05	0.0019	0.0009	0.0091

Cuadro 7. Componentes de rendimiento evaluadas a cultivo de *Sorghum bicolor* L. fertilizados e inoculados con HMA nativo y *Rhizophagus intraradices*.

Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

En comparación de medias se puede ver que la diferencia entre tratamientos se debe principalmente a la interacción HMA y fertilizante al 50 %, así como la inoculación de HMA adicionada con lombricomposta, reflejándose un menor peso en los tratamientos en los que no se aplicó aditamento aparte del HMA.

La figura 23 representa el valor promedio del número total de panojas cosechadas de cada tratamiento, siendo este el equivalente al total de individuos que lograron su desarrollo hasta la etapa de madurez de *Sorghum bicolor* L.; según la prueba de comparación de medias de Tukey esta variable exhibió una diferencia altamente significativa ($p = 0.00$), presentándose el valor promedio mayor en el tratamiento Nt (72 panojas). No obstante, en los valores obtenidos en peso total de panojas (figura 24) dicho tratamiento obtuvo el valor promedio menor (0.9 Kg). Mientras que el valor mayor promedio se mostró en el tratamiento Nt+F (1.9 Kg),

existiendo una diferencia altamente significativa en este parámetro ($p = 0.003$) según la prueba de comparación de medias de Tukey.

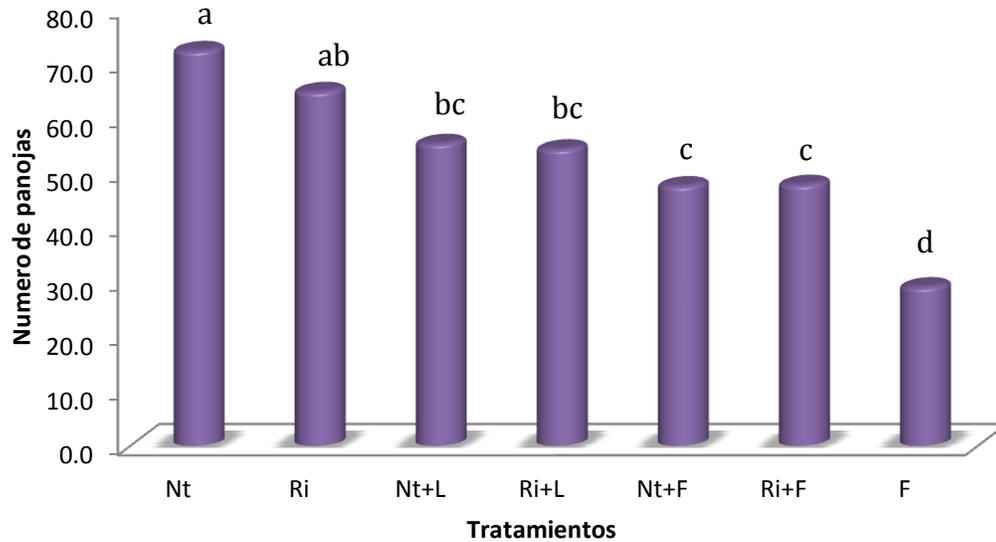


Figura 24. Número total de panojas en plantas de *Sorghum bicolor* L. en los diferentes tratamientos (valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

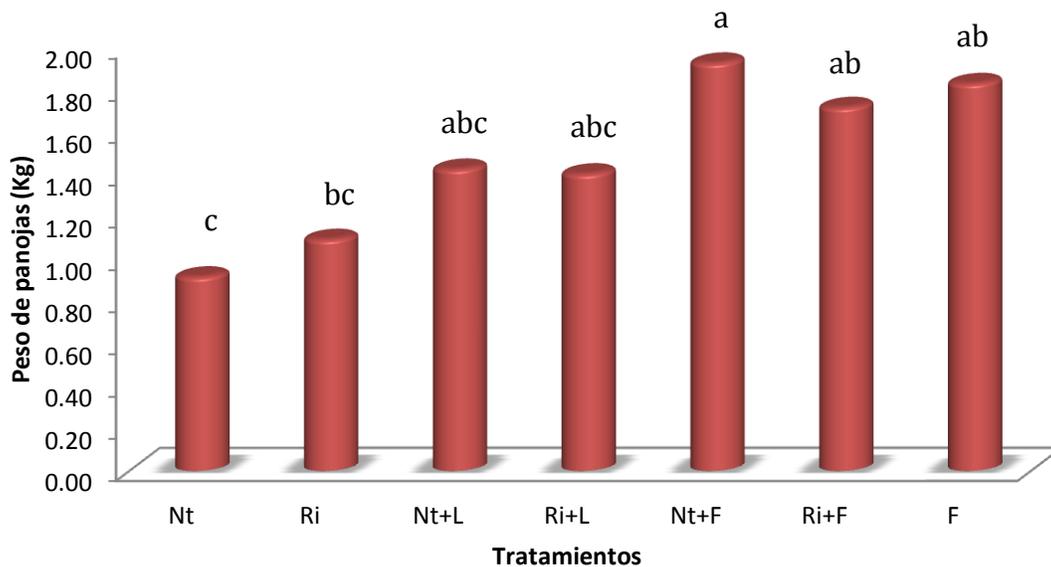


Figura 25. Peso total de panojas de plantas de *Sorghum bicolor* L. cosechadas para los distintos tratamientos (Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

Los HMA confieren a la planta resistencia a las enfermedades, mejoran y ayudan a la captación de nutrientes vía raíz del vegetal, aumentan la captación del agua, por lo que las plantas “micorrizadas” obtienen una mayor tolerancia a las sequías (Guerra, 2008). La perspectiva de utilizar HMA como biofertilizantes implica la producción de inóculos que sean efectivos e infectivos y que además sean funcionales en las condiciones ambientales en las cuales se apliquen (Monroy García, 2009). Por ello es viable la inoculación con HMA nativos o autóctonos ya se encuentran adaptados a las condiciones edafoclimáticas del sitio en que se deseen inocular.

La figura 25 presenta los rendimientos obtenidos de grano en *Sorghum bicolor* L., en donde existió una diferencia altamente significativa ($p = 0.0009$). Los tratamientos Nt+F (9.66 ton ha^{-1}) y F (9.97 ton ha^{-1}) obtuvieron los mayores rendimientos, mientras que en los tratamientos en los que no se aplicó este aditamento se alcanzó un menor rendimiento en grano de *Sorghum bicolor*, obteniéndose en Nt y Ri un rendimiento 52 y 40 % menor del valor más alto obtenido. En los tratamientos que contienen lombricomposta, estos alcanzan un rendimiento de 8 ton ha^{-1} en el caso de Nt+L y 7.47 ton ha^{-1} en Ri+L.

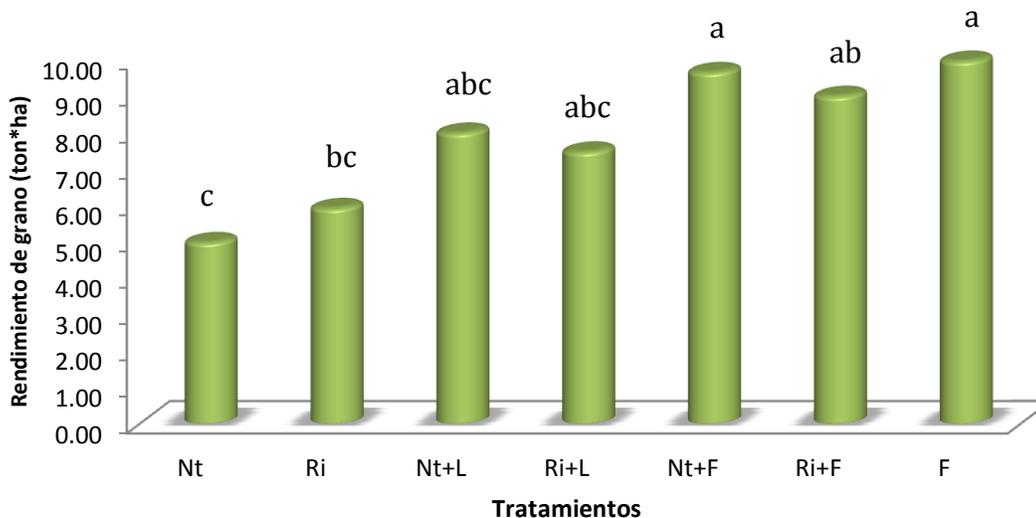


Figura 26. Rendimiento de grano, ton ha^{-1} en cultivo de *Sorghum bicolor* L. bajo los distintos tratamientos (Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

Una combinación de la fertilización química y biológica (HMA nativo) permite evidenciar el efecto de los microorganismos y una racional aplicación de las enmiendas químicas conduciendo hacia el verdadero manejo sostenible de los agroecosistemas (Toro, 2008). De manera que el uso de HMA contribuye a mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes, y mejorar el rendimiento en la producción de grano de sorgo y otros cultivos de interés agronómico. Peña del Rio (2011) concluye que gracias a la inoculación con HMA, se puede reducir el uso de fertilizantes químicos y así disminuir los costos que genera el uso de estos.

9.6. Análisis químico en tejido vegetal

Los resultados del análisis nutrimental de P y N en tejido foliar realizado al cultivo de sorgo presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0001$) para P y en N de ($p = 0.0002$). Según Chapman D. (1981), la concentración de P y N foliar en las plantas de *Sorghum bicolor* L. de los distintos tratamientos se encuentran dentro de los intervalos siendo estos 0.03 a 0.3 % para fósforo vegetal y de 0.2 a 4.0 % de nitrógeno vegetal.

El tratamiento F obtuvo el valor promedio más alto en N foliar (1.58 %) dado que este fue fertilizado con la dosis completa, presentando como fuentes principales de nitrógeno a los fertilizantes químicos urea, fosfato diamónico y sulfato de amonio. Seguido de Nt+L con un valor promedio de 1.48 % en nitrógeno foliar (figura 26). Y mostrándose las concentraciones más bajas en los tratamientos sin aditamentos químicos y orgánicos como la lombricomposta como Nt (1.12 %) y Ri (1.108 %).

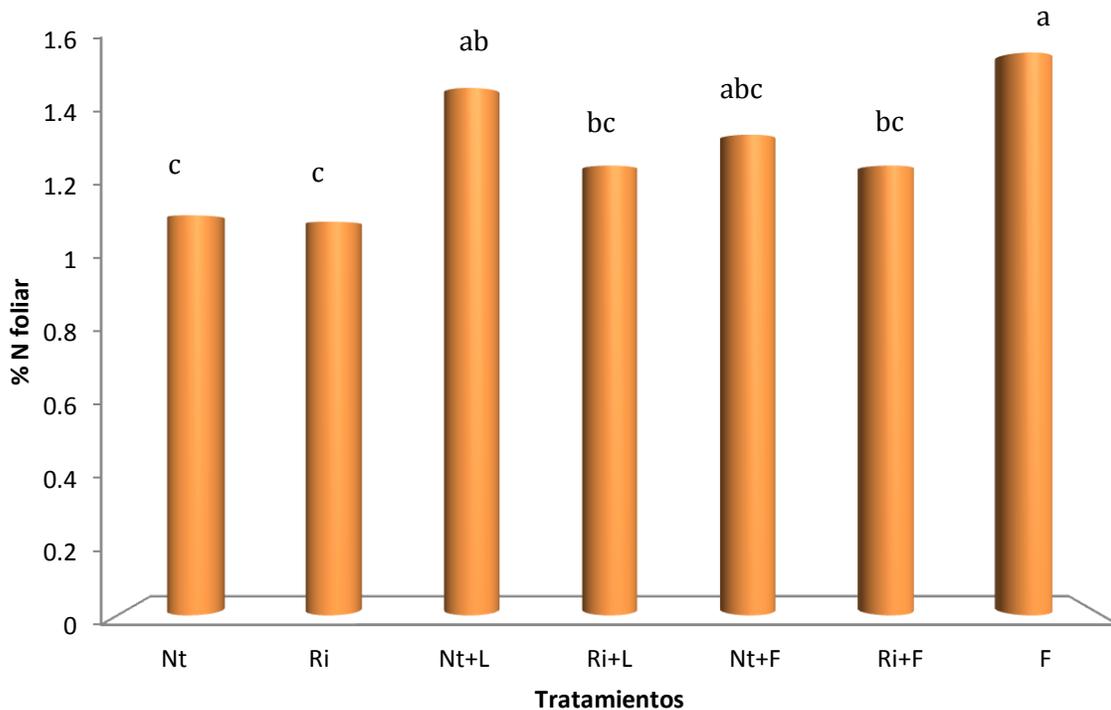


Figura 27. Contenido de Nitrógeno (%) foliar en plantas de cultivo de *Sorghum bicolor* L. bajo diferentes tratamientos (Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes $p > 0.05$).

García Carmona (1996) menciona que la aplicación de lombricomposta con la inoculación micorrízica en cebolla y maíz incrementa hasta un 50 % la absorción de nitrógeno, lo que se refleja en mayor producción de materia seca. Además, dicha interacción mostro en este estudio, mayores concentraciones de fósforo en la parte aérea demostrando un aprovechamiento eficientemente de los nutrimentos. Siendo este el caso del tratamiento Nt+L, que exhibió también el valor promedio más alto de fósforo foliar (0.132 %), seguido de tratamientos inoculados solo con HMA nativo (0.127 %) y *R. intraradices* (0.12 %) (Figura 27).

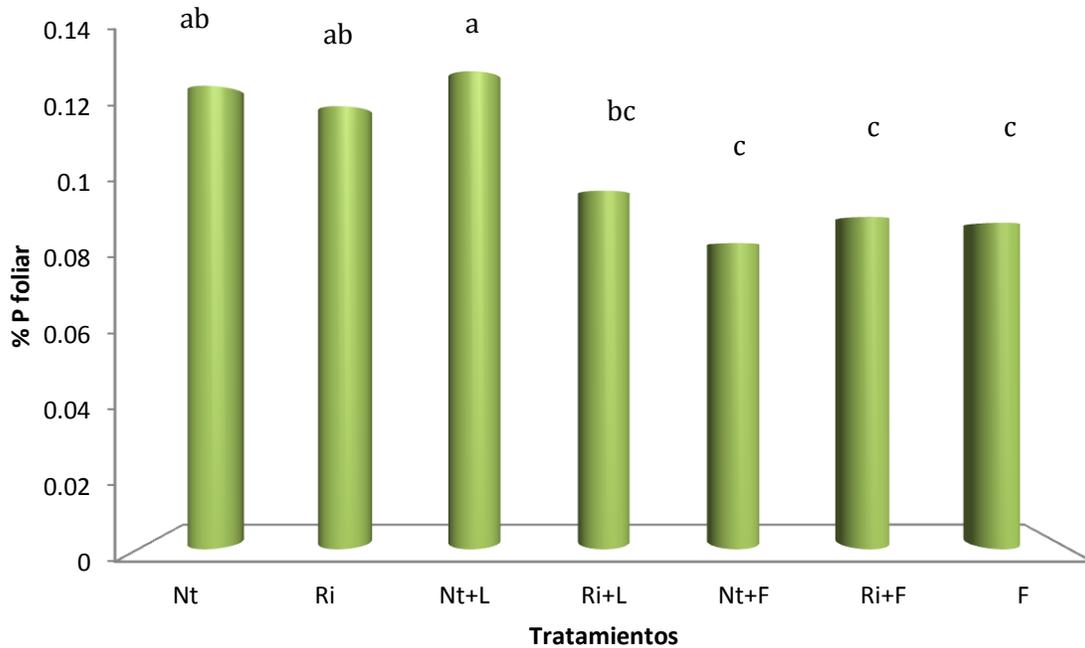


Figura 28. Contenido de fósforo (%) foliar en plantas de cultivo de *Sorghum bicolor* bajo diferentes tratamientos. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

La absorción de fósforo es el efecto que se asocia comúnmente a las micorrizas (Silveira, 1992), siendo este el mayor beneficio que las plantas obtienen de esta asociación obteniendo un mayor crecimiento debido a un incremento en la absorción cuando este elemento es limitante. Cuando el P no es limitante, el beneficio puede ser nulo o reducido, según el grado de dependencia micorrízica de la planta (Blanco, 2007); aspecto que fue confirmado en esta investigación dado que los valores menores se registraron en los tratamientos fertilizados como lo muestra la figura 27.

10.CONCLUSIONES

- El tratamiento con fertilización química completa presentó los mejores resultados en las mediciones agronómicas y de rendimiento, lo que muestra que si bien es importante la inoculación con HMA en las condiciones del cultivo realizado, es de mayor impacto el uso de fertilizantes químicos.
- Los resultados de este estudio, permiten la producción, manejo y masificación del inóculo de HMA nativo, así como su inoculación al cultivo de *Sorghum bicolor* L.
- El sitio de estudio muestra concentraciones bajas de nitrógeno y fósforo, aunque existen parámetros edafológicos como pH, porcentaje de materia orgánica y conductividad eléctrica con valores adecuados para el cultivo de *Sorghum bicolor* L.
- Los porcentajes de colonización en HMA autóctonos muestran una alta infectividad, siendo notable su efecto benéfico en el cultivo de *Sorghum bicolor* con la dosis media de fertilizantes químicos, ya que el tratamiento Nt+F exhibió, en su sistema radicular, el valor porcentual más alto en colonización micorrízica arbuscular total; además de haber mostrado efecto el HMA nativo en el tratamiento con fertilización completa (F) dado que presentó colonización micorrízica aun sin ser inoculado.
- Los tratamientos inoculados con HMA y fertilización química simultánea, así como el tratamiento de fertilización química completa presentaron mejor efecto en el crecimiento alcanzado en la madurez de las plantas de *Sorghum bicolor* L.
- Los tratamiento inoculados con *Rhizophagus intraradices* exhibieron una mayor producción de esporas a comparación de los tratamientos inoculados con HMA nativo, sin mostrar efectos positivos sobresalientes en el cultivo de *Sorghum bicolor* L.
- La inoculación con HMA nativo aumenta la formación de panojas, aunque su efecto se presenta de diferente forma, dependiendo de la estrategia de fertilización o aplicación de lombricomposta. Con dosis media de fertilizantes se mostraron los valores más altos en peso de la planta, número de hojas, y en el peso y ancho de la panoja, así como en peso foliar y peso total de la panoja; al

adicionar lombricomposta se tienen los valores más elevados en altura de la planta, peso y ancho del tallo.

- Los valores de nitrógeno y fósforo a nivel foliar son óptimos para el cultivo de *Sorghum bicolor* L., aunque las plantas inoculadas con HMA nativo exhibieron el valor promedio mayor de fósforo foliar y el tratamiento con fertilización completa el valor más alto en nitrógeno foliar.
- La inoculación con HMA nativo complementado con la dosis media de fertilizante químico permite la reducción de aditamentos químicos, ya que a través de esta combinación se obtuvieron rendimientos de grano de *Sorghum bicolor* L. similares a los alcanzados por la fertilización química completa. Por lo que se recomienda la inoculación con HMA nativos complementada con la dosis media de fertilizante químico para una posible aplicación comercial y ahorro de aditamentos químicos.

11.LITERATURA

- ABATE C.; CALLIERI D.; RODRIGUEZ E.; GARRO O., 1996, “Ethanol production by a mixed culture of flocculent strains of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces sp.*”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* Vol. . 45, EUA, pp580-583.
- AGUILAR B. S., 1988, “Ecología del estado de Morelos. Un enfoque geográfico”, *Instituto Estatal de Documentación de Morelos*, Editorial Praxis, México, en: DELGADILLO M. J., 2000, “Contribuciones a la investigación regional del estado de Morelos”, *UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias*, Morelos, México.
- AGUIRRE M. F., 2008, “Biofertilizantes microbianos: Antecedentes del programa y resultados de validación en México”, en: DÍAZ F. A.; MAYEK P. N, “La biofertilización como Tecnología Sostenible”, *Plaza y Valdés-CONACYT*. Distrito Federal, México. 257 pags.
- ALBARRAN A., 2011, “Supera rendimientos el sorgo en Morelos”, *El sol de Cuernavaca*. Morelos, México,
<http://www.oem.com.mx/elsoldecuautla/notas/n2335657.htm> (Fecha de consulta; 10 de abril del 2012).
- ALARCÓN A. 2008, “Los hongos micorrízicos como biotecnología en la propagación y manejo de plantas en viveros”, *Microbiología, Colegio de posgraduados*, No. 1, año 1, D.F., México, pp19-23
- ALLAN J. E. 1971, “The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy”, *Varian Thechtron*, Walnut Creek, California, EUA.
- ALLEN E.; ALLEN M.; HELMEN D.; TRAPPE J.; MOLINA R.; RINCON E., 1995, “Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity” *Plant and soil*, Vol. 170, pp47-62
- AVILA M. J., 1997, “Guía para cultivar sorgo en Morelos”, *Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de*

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, folleto para productores No. 24, Morelos, México, pp2-10

- BAGO B.; PFEFFER P.; SHACHAR HIL Y.; 2000; “Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas”, *Journal of Plant Physiology*, Vol. 124, pp949-957.
- BAREA J. M., 1998, “Biología de la rizósfera”, *Investigación y Ciencia*, enero, pp74-81.
- BARKER S.; TAGU D.; DELP G., 1998, “Regulation of root and fungal morphogenesis in mycorrhizal symbiosis”, *Plant Physiology*, Vol. 116, pp 1201-1207, en: BARRER E. S., 2009, “El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura”, *Escuela de Biología, Facultad de Ciencias*, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, pp123-132.
- BARRER E. S., 2009, “El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura”, *Escuela de Biología, Facultad de Ciencias*, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, pp123-132.
- BATLLORI G. A., 2007, “Los problemas ambientales del estado de Morelos: la educación como parte de la solución”, *Instituto de Ecología*, UNAM. México.
- BERTSEH F., 1995, “Fertilidad de los suelos y su manejo”, *Asociación Costarricense de la ciencia del suelo*, Costa Rica, pp123 – 137.
- BETHLENFALVAY G. J.; LINDERMAN R. G., 1992, Preface. In “Mycorrhizae in sustainable agriculture”. Ed. By G.J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman, No. 54, Madison Wisconsin, USA, pp 45-70, en: BLANCO A. F.; A. E., 1997, “Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica”, *Agronomía Costarricense*, Costa Rica, Vol. 21, No.1, pp55-67.
- BLACK Jr., C.C., 1973, “Photosynthetic carbon fixation in relation to net CO₂ uptake”, *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 24, pp253-286.
- BLANCO A. F.; A. E., 1997, “Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica”, *Agronomía Costarricense*, Costa Rica, Vol. 21, No.1, pp55-67.

-
- BLANCO, F.; ROWE, H., 1994, “Efectividad de 31 poblaciones nativas de hongos formadores de micorrizas vesiculo-arbusculares (MVA)”. *In Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales*, San José, Costa Rica. 23 pags, en: BLANCO A. F.; A. E., 1997, “Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica”, *Agronomía Costarricense*, Costa Rica, Vol. 21, No.1, pp55-67.
 - BOUYOUCOS G. S., 1936, “Directions for making mechanical analysis of soils by hydrometer method”, *Soil Sci*, EUA, Vol. 4, pp225–228.
 - BRADY, N.C.; R.R. Weil, 1999, “The nature and properties of soils”, *Prentice Hall*, Upper Saddle River, NJ. USA, 960 pags.
 - BRAY R. H.; L. T. KURTZ, 1945, “Determination of total, organic and available phosphorus in soil”, *Soil Sci*, USA. Vol. 59, pp39-45.
 - BREMMER J. M., 1965, “Total nitrogen”, en: C. A. Black (ed.), “Methods of soil analysis”, Part 2, Agronomy 9, *American Society of Agronomy*, Wisconsin, USA, pp1149-1178.
 - CALVO G. R.; TAMAYO F. L.; MUÑO A D. G., 2008, Sistema producto sorgo del estado de Chiapas, México, 117 pags.
 - CARDOSO E. J.; LAMBAIS M. R., 1992, “Aplicacoes práticas de micorrizas vesículo arbusculares (MVA)”, *In Microbiologia do Solo. Sociedade de Brasileira de Ciencia do Solo*. Campinas, Brasil.
 - Cargill Semillas, 2006, “Sorgo granifero”, Manual del Cultivo de Sorgo. http://www.agrobit.com/Info_tecnica/agricultura/sorgo (Fecha de consulta: 6 de abril del 2012).
 - CAVAGNARO T., 2001, “Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity”, *New Phytologist*, Vol. 151, pp469-475.
 - CERVANTES S. A.; MARQUES M.; RIVERAP, 2006, “Análisis Estadístico. Un enfoque práctico con Statgraphics”, *Facultad de Estudios Superiores Zaragoza*, UNAM, D. F., México, pp1-113.
 - CGSEGI, 1981, “Síntesis geográfica de Morelos, México”, *Secretaría de Programación y Presupuesto*, en: MORALES S. M.; OLIVER G. R.; GARCÍA G.; TABOADA S. M., 2000, “El potencial de la agricultura de temporal de la región oriente de Morelos, **contribuciones a la investigación regional del estado de Morelos**”, *UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias*, Cuernavaca, Morelos, México.

-
- CHAPMAN, D. H.; PARKER P. F. 1981, "Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas", editorial Trillas, México D. F., pp102, 108 y 114
 - COLPOS, 2004, "Identificación y priorización de cadenas agroalimentarias en el estado de Morelos", *Colegio de posgraduados*, Campus Veracruz. Tepetates, Veracruz, México, 41 pags.
 - Conservatorio y Jardín Botánico de Ginebra, "*Flora africana*", http://es.wikipedia.org/wiki/Sorghum_bicolor (Fecha de consulta: 11 de abril del 2012)
 - CUENCA G.; CACERES A.; HASRNY Z.; URDANETA C., 2007, "Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales", *INTERCIENCIA*, Venezuela, Vol. 32, No, 1, pp23-29.
 - DE LA CRUZ S. R., 2007, "Sorgo. Un cultivo energético alternativo para la producción de etanol y coproductos", Cuba.
 - DIAZ F. A., GARZA C. I., PECINA Q. V.; MONTES G. N., 2008, "Respuesta del sorgo a micorriza arbuscular y *Azospirillum* en estrés hídrico", *Rev.Fitotec.*, México, Vol. 31, No.1, pp35-42.
 - DIAZ M. R.; DIAZ F. A.; GARZA C. I.; R. L. A., 2007, "Brassinosteroides e inoculación con *Rhizophagus intraradices* en el crecimiento y la producción de sorgo en campo", *Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán*, UAT, Reynosa Tamaulipas, México, pp1-7.
 - DIAZ, R. M.; GARCIA, F.; BOZZANO A. I., 1980, "Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotaciones de pasturas y cultivos", *Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger*, Miscelánea, Uruguay, No. 24, 25 pags.
 - DODD, J. C.; ARIAS I., KOOMEN I.; HAYMAN D. S., 1990, "The management of populations of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem", *Plant and Soil*, Vol. 122, pp229-240.
 - DOMINGUEZ P. L.; LY L.; GARCIA B., 2006, "El Sorgo", Boletín técnico porcino. *Instituto de Investigaciones Porcinas*, La Habana, Cuba, No. 4, pp1-15.

-
- DOMÍNGUEZ, R. I.; N. AGUILERA H., 1982, “Metodología de análisis físicos y químicos de suelos”, *UNAM. Facultad de Ciencias-Biología*, México, 34 pags.
 - DOMÍNGUEZ V.A., 1997, “Tratado de Fertilización”. 3ra. Edición. *Mundi Prensa*. Madrid, España, 613 pags.
 - DORAN J. W.; JONES A. J.; ARSHAD M. A.; GILLEY J. E., 1999, “Determinants of Soil Quality and Health”, en: RATTAN LAT (Eds.), “Soil Quality and Soil Erosion”, *CRC Press*, Florida, EUA, pp39-57.
 - FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 1997, “La economía del sorgo y del mijo en el mundo: hechos, tendencias y perspectivas”, *Departamento Económico y Social*, Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/w1808s/w1808s0b.htm> (Fecha de consulta: 10 de abril del 2012)
 - FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2002, “Sorgo dulce en China. Cumbre Mundial sobre la Alimentación”, *Departamento de agricultura*, Roma, Italia, pp1-2.
 - FENCHEL T.; KING G. M.; BLACKBURN T. H.; 2000, “Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling”, 2^{ed}. *Academic Press*, San Diego, EUA, pp43-59, 117-161.
 - FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales), 2010a, “El cultivo de sorgo historia e importancia”. *Importancia de los cultivos representados por FENALCE*, pp20-25. www.fenalce.org/arch_public/sorgo93.pdf. (Fecha de consulta: 06 de abril del 2012)
 - FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales), 2010b, “Matriz sector cereales. Cultivo de sorgo en Colombia”. http://www.fenalce.org/pagina.php?p_a=47 (Fecha de consulta: 11 de abril del 2012)
 - FERRERA C. R.; GONZALEZ C.; RODRIGUEZ M., 1993, “Manual de Agromicrobiología”, *Ed. Trillas*, D. F. México, pp56-80.
 - FERRERA C. R., 1995, “Efecto de la rizósfera”, pp 36-54, en: FERRERA C.; PÉREZ M. R. J. (eds) *Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable*. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 233 pags.
 - FERRERA C. R.; ALARCÓN A., 2007, “Microbiología agrícola”, Editorial Trillas, México, Capitulo 5, pp90-119.

-
- FINANCIERA RURAL, 2009, "Monografía del Sorgo", *Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial*, México, pp1-3. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf>. (Fecha de consulta: 28 octubre 2011).
 - FORSTER P. y Col., 2007, "Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing", en: SOLOMON S.; QIN D.; MANNING M.; CHEN Z.; MARQUIS M.; AVERYT K.; TIGNOR M.; MILLER H.L. (eds.), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", *Cambridge University Press*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EUA, 212 pags.
 - GARCIA C. R., 1996, "Vermicomposta e inoculación micorrízica en maíz y cebolla cultivadas en tepetate", Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos, pp23-45p.
 - GARDEZI A. K.; GARCÍA E. R.; FERRERA C. R.; LARQUÉ S. M., 1999, "Effect of arbuscular mycorrhizae on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in naturally infested soil with *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*", *Rev. Mex. Fitopatol*, Vol. 17, pp23-28.
 - GARRO O.; E. RODRÍGUEZ; PALACIOS R.; CALLIERI D. A., 1995, "Mathematical Modelling of the Alcoholic Fermentation of Glucose by *Zymomonas mobilis*". *J. Chem. Tech. Biotechnol*, Vol. 63, pp367-373
 - GAVANDE S. A., 1982, "Física de suelos, principios y aplicaciones", Limusa, D. F. México.
 - GERDEMANN J. W. y NICOLSON T. H., 1963, "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting". *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, Vol. 46. USA, pp235-244.
 - GIOVANETTI M. y SBRANA C., 1998, "Meeting a non-host: the behavior of AM fungi", *Mycorrhiza*, Vol. 8, pp123-130
 - GONZÁLEZ CHÁVEZ M., 2005, "Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos". *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23, No. 1, pp29-37.
 - GONZALEZ CHAVEZ MA. DEL C.; ALARCÓN A.; FERRERA C. R., 2001, "Biodiversidad funcional de los hongos micorrízicos arbusculares en zonas aridas y semiáridas", en: PEÑA B. J., 2002, "Influencia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el establecimiento de *Mimosa biuncifera* Benth, bajo condiciones de sequia en un invernadero", Tesis

(título de Biólogo), Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, D. F. México, 64 pags.

- GRAIN, 2012, “Cuidar el suelo”, http://www.rapaluru.org/organicos/articulos/cuidar_el_suelo (Fecha de consulta: 11 de abril del 2012)
- GUERRA S. B., 2008, “Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible”, *Tecnología en Marcha*, Colombia, Vol. 21, No.1, pp191-201.
- HAHN R. R. Traducción: Mestre Yanina, 1970, “Producción del sorgo y su utilización”, Capítulo 16, EUA, pp9-19
- HARRISON M. J., 1997, “The arbuscular mycorrhizal symbiosis”, *Academic Press Inc.* England. ISBN 0-12-325560-0.
- JACKSON M. L., Traducción al español por J. Beltrán M. Omega, 1964, “Análisis químico de suelos”, Barcelona, España, 662 pags.
- JASPER D. A.; ABBOTT L. K.; ROBSON A. D., 1989, “Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphal of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi”, *New Phytol.* Vol. 112, pp93-99.
- JOHANSSON F; PAUL L; FINLAY R., 2004, “Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture”. *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. 48, pp1-13.
- KOLMANS E.; VÁSQUEZ D., 1999, “Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación”, *Grupo de Agricultura Orgánica*, Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. 2da.edición. 148 pags.
- KURLE J. E.; PFLEGER F. L., 1994, “The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi”, en: Pfleger F. L.; Linderman R. G., “Mycorrhizae and plant health”. *APS Press*, Minnesota, EUA, pp101-132.
- LEESON S.; SUMMERS J. D., 1997, *Commercial Poultry Nutrition*, second ed. University Books Guelph, Ontario, Canada.
- LOUIS I.; LIM J., 1988, “Differential response and growth and mycorrhizal colonization on soybean to inoculation with two isolates of *Glomus claram* in soils of different P availability”, *Plant and Soil*, Vol.112, pp37-43.

-
- MARSCHNER H., 1990, “Mineral nutrition of higher plants”, 4ta. Reimpresión, *Academic Press*, EUA, pp465-476.
 - MILLER S. L.; ALLEN E. B., 1992, “Mycorrhizae, nutrient translocation and interactions between plants”, en: Allen M. F. (Ed.), “Mycorrhizal functioning”, *Chapman and Hall*, Londres, Gran Bretaña.
 - MOLINA R.; Massicote H. y Trappe J., 1992, “Specificity phenomena in mycorrhizal symbiosis: community – ecological consequences and practical implications”, en: ALLEN M. F. (Ed.), “Mycorrhizal functioning”, Chapman and Hall. Londres, Gran Bretaña.
 - MONROY A. A.; GARCIA S. R., 2009, “Plantas y Hongos. Micorrizas Arbusculares: Un mutualismo esencial en zonas semiáridas”, Primera edición. *Unidad de Investigación en Ecología Vegetal*, D. F. México, 98 pags.
 - MORALES S. M.; OLIVER R.; GARCÍA E.; TABOADA M., 2000, “El potencial de la agricultura de temporal de la región oriente de Morelos, Contribuciones a la investigación regional del estado de Morelos”, *Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias*, UAEM, Morelos, México, <http://132.248.35.1/bibliovirtual/Libros/Delgadillo/Morelos/Morelos.htm> (Fecha de consulta: 10 noviembre 2011)
 - NAR L. F., 2008, “Perfil del sorgo”, Gobierno del estado de Campeche, Promotora de Servicios Comerciales de Campeche, México, pp1-18.
 - NICOLSON, T. H., 1975, “A flotation method for collecting spores of a phytomycetous mycorrhizal parasite from soil”, *Phytopathology*, Vol. 47, No. 751, 752 pags.
 - OEHL F., 2003, “Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe”, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 69, No. 5, pp2816-2824.
 - OLALDE P. V.; SERRATOS R., 2008, “Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento”, en: DÍAZ F. A.; MAYEK P. N. (eds), “La Biofertilización como Tecnología Sostenible”. *Plaza y Valdés – CONACYT*, D. F., México, 257 pags.
 - PEDROZA E., 2011, “Auguran cifra récord en cosecha de sorgo y maíz”, *Periódico El Regional*, Morelos, México. <http://www.elregional.com.mx/index.php> (fecha de consulta: 10 de abril del 2012)

-
- PEÑA B. J., 2002, “Influencia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el establecimiento de *Mimosa biuncifera* Benth, bajo condiciones de sequia en un invernadero”, Tesis (título de Biólogo), Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, D. F. México, 64 pags.
 - PEÑA DEL RÍO Ma. de los A.; AGUIRRE M. J. F.; DE LA FUENTE S. H.; DE LA TORRE T. I.; SÁNCHEZ S. A., “Efecto de la biofertilización en el cultivo de trigo en Nuevo León, México”, *INIFAP Centro de Investigación Noreste Campo Experimental General Terán*. México, pp780-783, en: Guerrero-Peña A. y Col. (Eds.), 2011, *Haciendo química en Campeche con los suelos de México*, Libro de Resúmenes en extenso del XXXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* San Francisco de Campeche, Campeche, México. 1126 pags.
 - PETERSON L.; MASSICOTE H.; MELVILLE L., 2004, “Mycorrhizas: Anatomy and cell biology”, Ottawa: *NRC Research press*, 173 pags.
 - PHILLIPS J. M.; HAYMAN D. S., 1970, “Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection”, *Trans. Br. Mycol. Soc. EUA*, Vol. 55, pp158-161.
 - PLENCHETTE C.; FORTIN J. A.; FURLAN V., 1983, “Growth response of several plants species to mycorrhizal in a soil of moderate P fertility”. *Plant Soil*, Vol. 70, pp199- 209.
 - RATIKANTA MAITI, 1986, “Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo”, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, México. pp5,6,11
 - RICHARDS L. A., 1954, “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils”, *US Salinity Laboratory Staff, USDA Agriculture Handbook*, USA, No. 60, 160 pags.
 - SANCHEZ C. Ma J., 2000, “Respuesta del maíz a la inoculación con *Azospirillum* y colonización con micorrizas arbusculares *in situ* en un andisol encalado del Estado de México”, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado, UNAM, D. F. México, 82 pags.
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA); FUNDACIÓN PRODUCE MORELOS, GOBIERNO DEL EDO. DE MORELOS, 2011, Agenda de innovación tecnológica del estado de Morelos, México, 194 pags.

-
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA); FUNDACIÓN PRODUCE MORELOS, GOBIERNO DEL EDO. DE MORELOS, 2010, Agenda de innovación tecnológica del estado de Morelos, México, pp81-82.
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA); 2009, Monitor agronómico del estado de Morelos, México, pp1-16.
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA), 2008, “Mercado internacional del sorgo. Coordinación general de apoyos a la comercialización”, *Dirección general de operaciones financieras, Dirección de análisis y estudios de mercados*, México, pp2-11.
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION (SAGARPA); SECRETARIA DE DESARROLLO RURAL (SDR); GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS, 2005 “Sorgo”, Chiapas, México. pp4-117
 - SHEEN J., 1999, “C4 gene expression”, *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio.*, Vol. 50, pp187-217.
 - SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera), 2008, “Producción agrícola. Cíclicos y perennes 2008. Riego + Temporal”, Resumen de cultivos, México, en: SAGARPA; FUNDACIÓN PRODUCE MORELOS, GOBIERNO DEL EDO. DE MORELOS, 2010, Agenda de innovación tecnológica del estado de Morelos, México, pp81-82. <http://www.siap.gob.mx/ventana> (fecha de consulta: 30 de abril del 2012)
 - SIAP, 2003, “Situación actual y perspectivas de la producción de sorgo en México 1992-2004”, D.F., México, pp1-93.
 - SIEVERDING E., 1986, “El papel de las micorrizas en la agricultura”, *Suelos Ecuatoriales*, Vol. 16, No.1, pp52-59.
 - SIEVERDING E., 1991, “Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems”, *Eschborn, Germany, GT Z*, 371 pags.
 - SILVEIRA D. A., 1992, “Micorrizas”, en: CARDOSO J.; TISAI S; NEVES P. (eds), Microbiologia do solo, *Sociedade brasileira de Ciencia do Solo*, Brasil.
 - SYLVIA D. M., 1999, “Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a “biofertilizer” perspective”, pp705-723, en: SIQUEIRA J. O.;

-
- MOREIRA F. M. (eds.), Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. *Sociedade Brasileira de Ciencia de Solo*. Minas, Brasil.
- TARAFDAR J. C.; RAO. V., 2002, "Possible Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Development of Soil Structure", **en:** Sharma A. K.; JOHRI B. N. (eds.), *Arbuscular Mycorrhizae. Interactions in Plants, Rhizosphere and Soils*, *Science Publishers, Inc.*, Enfield, EUA, pp186-206.
 - TOMKINS P.; BIRD C., 1973, "The Secret life of Plants". *Harper & Row, Publishers*, EUA, pp301-364.
 - TORO M.; BAZÓ I.; LÓPEZ M., 2008, "Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista", *Agronomía Trop.*, Caracas, Venezuela, Vol. 58, No.3, pp215-221.
 - TORO, M.; LÓPEZ H. D., 1998, "Potencialidades del manejo de las Micorrizas Arbusculares para el desarrollo sostenido de los sistemas agrícolas de bajos insumos del ecotono sabana-bosque amazónico", **en:** CARRILLO R J. (Compilador), 1997, *Memorias del IV Congreso Interamericano sobre el medio ambiente realizado en Caracas, Venezuela, entre el 8 y 11 de diciembre de 1997*, Colección Simposia, pp222-227.
 - TRUJILLO C. A., 2008, "Uso de biofertilizantes para mejorar la rentabilidad del cultivo de Maíz, bajo condiciones de temporal, en el estado de Morelos", *INIFAP-Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México*, pp1-9.
 - VAN DER HEIJDEN M., 1998, "Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure". *Ecology*, EUA, Vol. 79, No. 6, pp2082- 2091
 - VÁZQUEZ A. A.; BAUTISTA N., 1993, *Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua*, *Departamento de Suelos*, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
 - VAZQUEZ A. J.; ASTENGO L. E.; ZAMUDIO G. B.; CABRERA R. J.; CEBALLOS S. A.; GÚEMES G. M. J.; LOPEZ G. P.; PALACIOS A. A.; RAMIREZ R. S.; SALAZAR P. A., 2003, "Programa estratégico de necesidades de investigación y tecnología en el estado Morelos", *INIFAP. FPM*, Cuernavaca, Morelos. 190 pags.
 - VELAZCO V. J., 1996, "Efecto de la vermicomposta e inoculación con endomicorriza arbuscular (*Glomus intraradix*) y *Azospirillum brasilense* en la producción de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot)", Tesis

profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, Depto. de agroecología.
90 pags

- VIERHEILIG H., 2004, "Regulatory mechanisms during the plant - arbuscular mycorrhizal fungus interaction", *Canadian Journal of Botany*, Vol. 82, pp1166- 1176.
- WHIPPS J. M., 2001, "Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere", *Journal of Experimental Botany*, Vol. 52, pp487-511.
- ZAMORA M.; MELIN A.; MASSIGOGE J., 2008, "Fertilización nitrogenada de sorgo: Resultados Campaña 2007-08", *AgroBarrow*, No. 42. pp11-13.