



Universidad Nacional Autónoma
de México

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"

Tesis

*Efecto de la inoculación de las MA sobre el
rendimiento de maíz y haba aplicando composta y
fertilización inorgánica*

Presenta: José Daniel Rojas Alba

Como requisito
para obtener el título de
Biólogo

Dirección de tesis: M. en C. María de Jesús Sánchez Colín

México, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A vos Padre, por darme tu luz, tu sabiduría en la víspera de la fiesta del alma.

A vos Maestro, por confiarme tu arado, la simiente de amor.

A vos Viejo, porque sos mi cómplice, por darme tu fuerza y valor.

A la Profesora María de Jesús Sánchez Colín, por alimentar y cimentar mis sueños.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por poner en mis manos los misterios del mundo, por intentar saciar mi curiosidad.

A mi mamá, María Alba Olivo, por su gran capacidad de asombro.

A mis hermanos, Álvaro Ángel López Alba y Leonel Isaías López Alba, por su apoyo incondicionado.

A la memoria de mi abuelita Candelaria Olivo...

A todas las cosas que no se explican, pero que todos sabemos por que las vivimos...

A quienes se atreven a correr detrás de los mundos que les quitan el sueño...

A quienes tienen una flama en el pecho y unas manos luminosas...

Yo dedico esta tesis

Expreso mi más profundo agradecimiento a:

*La Universidad Nacional Autónoma de México,
La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza,
La Carrera de Biología, a través del
Laboratorio de Microbiología de suelos;*

*Las sritas. Victorina González Esquivel y Lucila González Esquivel, por permitirme
trabajar en su parcela;*

Los profesores que integran el jurado:

*M. en C. María de Jesús Sánchez Colín
Dr. Arcadio Monroy Ata
Biól. Rubén Zulbarán Rosales
Biól. Ramiro Ríos Gómez
Biól. Elvia García Santos*

El Ingeniero Trueba, por la donación de la composta

*Las personas que de alguna manera apoyaron esta investigación: M. en C. Angélica
González, Dr. Gerardo Cruz, M. en C. Rosalva García, M. en C. Antonio Valencia, Biól.
Roberto Balderas, M. en C. Maricela Arteaga, M. en C. Armando Cervantes, Biól.
Fabiola Morales, Biól Orlando Juárez, Biól. Araceli Bautista, Biól. Hilda Medrano, Biól.
Verónica Quiroz, Biól. Alejandro Bello, Biól. Gerardo Azuara, Biól. Socorro Labra, Biól.
Alicia Torres, M. C. Thalía Ópalo, Biól. Claudia Caruso, Biól. Alicia Franco, Biól.
Elizandro Pineda, Biól. Rocío Betanzos, Biól. Isaac Meléndez, Q. F. B. Carmina Ortiz, Ac.
Sandra Reyes, Enf. Guadalupe García, Enf. Magdalena Molina, Lic. Victoria Mora, Dra.
Ángeles Muciño... a todas las personas que sin querer no he mencionado y a todos
quienes han creído en mí.*

A Sandra Godínez por sembrar la poesía.

A Magda Aguilar por la inspiración inacabada.

A todos...

Mil gracias.

Contenido general

| | |
|--|------|
| Índice de figuras | VIII |
| Índice de cuadros | IX |
| Índice de gráficas | X |
| Índice de mapas | X |
| Resumen..... | XI |
| | |
| Introducción..... | 1 |
| | |
| Justificación..... | 3 |
| | |
| Marco teórico..... | 5 |
| Rizosfera | 5 |
| Micorrizas arbusculares..... | 5 |
| Los beneficios de la simbiosis..... | 6 |
| La micorriza arbuscular y otros microorganismos..... | 7 |
| La micorriza arbuscular y la fertilización..... | 10 |
| La micorriza arbuscular como biotecnología..... | 10 |
| Composta..... | 12 |
| Nitrógeno..... | 13 |
| Fósforo..... | 14 |
| Andisoles..... | 16 |
| Encalado..... | 18 |
| Maíz..... | 19 |
| Haba..... | 20 |
| | |
| Antecedentes..... | 23 |
| | |
| Zona de estudio..... | 27 |
| | |
| Hipótesis y objetivos | 31 |
| | |
| Material y método..... | 33 |
| Diseño experimental..... | 33 |
| Análisis de suelo..... | 33 |
| Encalado..... | 33 |
| Fertilización orgánica..... | 34 |
| Fertilización inorgánica..... | 34 |
| Inoculación micorrízica..... | 34 |
| Semillas utilizadas..... | 35 |
| Porcentaje de colonización micorrízica..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| P y N foliares..... | 35 |
| Cuantificación de esporas..... | 35 |
| Rendimiento..... | 35 |
| Análisis de resultados..... | 36 |
| Resultados y discusión..... | 37 |
| Parámetros del suelo..... | 37 |
| Cantidad de esporas del suelo..... | 39 |
| Porcentajes de colonización micorrízica en maíz..... | 40 |
| P foliar en maíz..... | 42 |
| N foliar en maíz..... | 45 |
| Longitud de las plantas de maíz por muestreo..... | 48 |
| Rendimiento de grano seco..... | 49 |
| Porcentaje de colonización micorrízica en haba..... | 52 |
| P foliar en haba..... | 54 |
| N foliar en haba..... | 56 |
| Longitud de las plantas de haba..... | 57 |
| Producción de haba en fresco (semilla + vaina)..... | 58 |
| Longitud de las vainas..... | 59 |
| Síntesis de mejoras..... | 61 |
| Conclusiones..... | 62 |
| Con respecto al suelo..... | 62 |
| Con respecto al maíz..... | 62 |
| Con respecto al haba..... | 62 |
| Recomendaciones..... | 63 |
| Referencias..... | 65 |
| Anexo I..... | 73 |
| Características de las esporas de los HMA..... | 73 |
| Género <i>Glomus</i> | 73 |
| Género <i>Paraglomus</i> | 75 |
| Género <i>Archaeospora</i> | 76 |
| Género <i>Gigaspora</i> | 76 |
| Género <i>Scutellospora</i> | 77 |
| Género <i>Acaulospora</i> | 78 |
| Género <i>Entrophospora</i> | 78 |
| Ciclo vital de las micorrizas arbusculares..... | 83 |
| Anexo II..... | 87 |
| Características del maíz y su clasificación taxonómica..... | 87 |
| Planta..... | 88 |
| Tallo..... | 88 |
| Hoja..... | 88 |
| Sistema radicular..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Raíz seminal..... | 88 |
| Raíces adventicias..... | 88 |
| Raíces de sostén..... | 88 |
| Raíces aéreas..... | 89 |
| Inflorescencia masculina..... | 89 |
| Inflorescencia femenina..... | 89 |
| Mazorca..... | 89 |
| Granos..... | 90 |
| | |
| Anexo III..... | 95 |
| Características del haba..... | 95 |
| Raíces..... | 95 |
| Tallo principal y ramas..... | 96 |
| Hojas..... | 96 |
| Nudos vegetativos y reproductivos..... | 96 |
| Flores e inflorescencias..... | 96 |
| Floración..... | 97 |
| Vainas..... | 97 |
| Etapa de llenado de granos..... | 97 |
| Semilla..... | 97 |
| | |
| Apéndice I..... | 101 |
| | |
| Análisis de rango múltiple para porcentaje de colonización total en raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha=0.05$ | 101 |
| | |
| Análisis de rango múltiple para el porcentaje de colonización vesicular de raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 102 |
| | |
| Análisis de rango múltiple para el porcentaje de colonización arbuscular de raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 103 |
| | |
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de maíz a los 76 días de la siembra (1° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 104 |
| | |
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de maíz a los 125 días después de la siembra (2° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 105 |

| | |
|---|-----|
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de maíz a los 157 días de la siembra (3° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 106 |
| Apéndice II..... | 107 |
| Análisis de rango múltiple para porcentaje de colonización total en raíces de haba por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 107 |
| Análisis de rango múltiple para concentración de N foliar en el segundo muestreo de haba, por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 108 |
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de haba a los 76 días después de la siembra (1° muestreo, en centímetros), mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 109 |
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de haba a los 125 días de la siembra (2° muestreo en centímetros), por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 110 |
| Análisis de rango múltiple para la longitud de las plantas de haba a los 157 días después de la siembra (3° muestreo, en centímetros), por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con 95% de confianza y $\alpha = 0.05$ | 111 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ontogenia de <i>Gigaspora</i> y <i>Scutellospora</i> | 81 |
| Figura 2. Ontogenia de <i>Glomus</i> , <i>Paraglomus</i> y <i>Archaeospora</i> | 81 |
| Figura 3. Ontogenia de <i>Acaulospora</i> y <i>Archaeospora</i> | 81 |
| Figura 4. Ontogenia de <i>Entrophospora</i> | 82 |
| Figura 5. Ontogenia de <i>Archaeospora</i> | 82 |
| Figura 6. Propágulos micorrízicos | 85 |
| Figura 7. Apresorios | 85 |
| Figura 8. Micelio micorrízico | 85 |
| Figura 9. Estructuras micorrízicas..... | 85 |
| Figura 10. La planta de maíz..... | 93 |
| Figura 11. Inflorescencia masculina o espiga..... | 93 |
| Figura 12. Inflorescencia femenina..... | 93 |
| Figura 13. Cariópside..... | 93 |

| | |
|--|----|
| Figura 14. La planta de haba..... | 99 |
| Figura 15. Posición axilar de las flores en la planta..... | 99 |
| Figura 16. Flor de haba..... | 99 |
| Figura 17. Vainas y semillas..... | 99 |

Índice de cuadros

| | |
|---|-----|
| Cuadro 1. Clasificación de los hongos micorrízicos arbusculares..... | 6 |
| Cuadro 2. Producción de maíz..... | 20 |
| Cuadro 3. Comparación del efecto de inóculos de suelo ácido y sódico... | 26 |
| Cuadro 4. Tratamientos experimentales..... | 33 |
| Cuadro 5. Determinaciones físicas y químicas del suelo..... | 33 |
| Cuadro 6. Resultados del análisis de suelo..... | 37 |
| Cuadro 7. Cantidad relativa de esporas en diferentes suelos..... | 40 |
| Cuadro 8. Medias de porcentaje de colonización tot. en maíz..... | 101 |
| Cuadro 9. Diferencias significativas de colonización tot. en maíz..... | 101 |
| Cuadro 10. Medias de porcentaje de colonización vesicular en maíz..... | 102 |
| Cuadro 11. Diferencias significativas de colonización vesicular en maíz.... | 102 |
| Cuadro 12. Medias de porcentaje de colonización arbuscular en maíz..... | 103 |
| Cuadro 13. Diferencias significativas de colonización arbuscular en maíz. | 103 |
| Cuadro 14. Medias de longitud de maíz 1° muestreo..... | 104 |
| Cuadro 15. Diferencias significativas de longitud de maíz 1° muestreo..... | 104 |
| Cuadro 16. Medias de longitud de maíz 2° muestreo..... | 105 |
| Cuadro 17. Diferencias significativas de longitud de maíz 2° muestreo..... | 105 |
| Cuadro 18. Medias de longitud de maíz 3° muestreo..... | 106 |
| Cuadro 19. Diferencias significativas de longitud de maíz 3° muestreo..... | 106 |
| Cuadro 20. Medias de porcentaje de colonización tot. en haba..... | 107 |
| Cuadro 21. Diferencias significativas de colonización tot. en haba..... | 107 |
| Cuadro 22. Medias de N foliar en haba 2° muestreo..... | 108 |
| Cuadro 23. Diferencias significativas de N foliar en haba 2° muestreo..... | 108 |
| Cuadro 24. Medias de longitud de haba 1° muestreo..... | 109 |
| Cuadro 25. Diferencias significativas de longitud de haba 2° muestreo..... | 109 |
| Cuadro 26. Medias de longitud de haba 2° muestreo..... | 110 |
| Cuadro 27. Diferencias significativas de longitud de haba 2° muestreo..... | 110 |
| Cuadro 28. Medias de longitud de haba 3° muestreo..... | 111 |
| Cuadro 29. Diferencias significativas de longitud de haba 3° muestreo..... | 111 |

Índice de gráficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Porcentaje de colonización micorrízica en maíz..... | 41 |
| Gráfica 2. Porcentaje de P foliar en maíz, 1° muestreo..... | 43 |
| Gráfica 3. Porcentaje de P foliar en maíz, 2° muestreo..... | 44 |
| Gráfica 4. Porcentaje de P foliar en maíz, ambos muestreos..... | 44 |
| Gráfica 5. Porcentaje de N foliar en maíz, 1° muestreo..... | 46 |
| Gráfica 6. Porcentaje de N foliar en maíz, 2° muestreo..... | 46 |
| Gráfica 7. Porcentaje de N foliar en maíz, ambos muestreos..... | 47 |
| Gráfica 8. Crecimiento del maíz..... | 48 |
| Gráfica 9. Rendimiento de grano de maíz..... | 50 |
| Gráfica 10. Colonización micorrízica en haba..... | 53 |
| Gráfica 11. Porcentaje de P foliar en haba..... | 55 |
| Gráfica 12. Porcentaje de N foliar en haba..... | 56 |
| Gráfica 13. Crecimiento del haba..... | 58 |
| Gráfica 14. Rendimiento en grano de haba fresco..... | 59 |
| Gráfica 15. Longitud de vainas de haba..... | 60 |

Índice de mapas

| | |
|---|----|
| Mapa 1. El Municipio de Villa Victoria en el Estado de México..... | 28 |
| Mapa 2. Localización de "El Hospital" con relación a la cabecera municipal de Villa Victoria..... | 29 |

Resumen

Los andisoles son suelos de origen volcánico que se caracterizan por ser fijadores de P. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que puedan tener las micorrizas arbusculares (MA) en un cultivo mixto de maíz y haba, para lo que se estableció un diseño experimental totalmente al azar en una parcela de Villa Victoria, Estado de México, la cual fue encalada (1.5 ton ha^{-1} de CaO), para todos los tratamientos. El diseño consistió en combinar un inoculante de hongos micorrízicos arbusculares elaborado en el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la FES Zaragoza, UNAM, (234 g de inoculante por kg de semillas de haba y 2 kg por kg de semillas de maíz), una fertilización orgánica basada en composta (10 ton ha^{-1} para ambos cultivos), una fertilización fosfatada (60 kg ha^{-1} para el maíz y 30 kg ha^{-1} para el haba), una fertilización nitrogenada (50 kg ha^{-1} para el maíz y 25 kg ha^{-1} para el haba) en seis tratamientos: T (testigo), F (fertilizante), F-M (fertilizante-micorriza), F-M-C (fertilizante-micorriza-composta), M-C (micorriza-composta), y C (composta). Cada tratamiento se estableció con 4 repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales de 6 m de largo con 5 surcos de ancho con 1 m de separación. Se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica en las raíces de ambas especies (de un muestreo por especie), P y N foliar (2 muestreos en ambas especies), crecimiento de la parte aérea (3 muestreos, ambas especies), rendimiento de grano seco de maíz y rendimiento de grano fresco de haba, así como la longitud de las vainas de haba, y un análisis físico y químico del suelo del sitio del experimento.

Los resultados mostraron que el suelo es un andisol cuya acidez se abatió en menos de una unidad con el encalado, rico en P, N, y materia orgánica y presenta HMA nativos. El maíz respondió mejor a la colonización micorrízica en los tratamientos no fertilizados, presentó en todos los tratamientos deficiencias en P foliar, suficiencia en N foliar. Un mejor crecimiento con el tratamiento C y un mayor rendimiento con el tratamiento F-M-C. En la etapa de la floración, el haba tuvo una óptima colonización micorrízica, sin que se notara inhibición por parte del fertilizante químico, ningún tratamiento propició la suficiencia en P foliar, en N foliar los tratamientos con los que se alcanzaron la suficiencia fueron C y M-C, para el 1° y el 2° muestreos respectivamente. El tratamiento C fue el mejor en cuanto a crecimiento de la parte aérea, rendimiento y longitud de la vaina.

Con lo anterior, puede verse que se requiere una mayor dosis de cal, un empleo paulatino de composta rica en P y en mayores dosis, para: 1) dejar más disponible el P fijado en los minerales del suelo; y 2) asegurar un suministro de P a largo plazo, mediante la mineralización de la materia orgánica aplicada en la composta.

Introducción

El suelo es el sistema trifásico (sólido, líquido y gaseoso) superficial de la litosfera que tiene una función crítica en cuanto al abastecimiento nutrimental de las plantas, es un ambiente complejo y frágil en el que se desarrolla una comunidad microbiana heterogénea, relacionada con las plantas ahí establecidas (Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994).

En el suelo están presentes microorganismos que les permiten a las plantas superiores la absorción de nutrimentos del suelo de una manera más eficiente. Entre ellos se tienen a bacterias y hongos. Un caso particular de ello lo son las micorrizas. Estas consisten en una simbiosis mutualística de algunos hongos (Ficomycetos, Ascomycetos y Basidiomicetos) con las raíces de las plantas superiores.

El interés existente por las micorrizas arbusculares (MA) en la agricultura es debido a que en la mayoría de los casos se incrementa la captación de fósforo y otros nutrimentos como N, K, Ca, Cu, S, Zn y agua. En el caso especial de las leguminosas, la estimulación del crecimiento por micorrizas arbusculares puede mejorar la nutrición con P y como consecuencia, incrementar la nodulación y fijación de Nitrógeno (Harley y Smith, 1983; Marschner, 1986; Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994).

Los andisoles son suelos cuya característica principal es que fijan altas cantidades de P debido a la presencia de un mineral amorfo llamado alofano y son ácidos, situación que repercute en el desarrollo de las plantas. De acuerdo con Ortiz Solorio, (1985), se estima que la superficie de andisoles es de 2.60% del total de suelos bajo agricultura de temporal en México, lo cual corresponde a una extensión de 540 000 ha. Sin embargo se estima que este grupo de suelos tiene una distribución más amplia. La mayor parte de estos suelos se localiza a lo largo del Eje Neovolcánico, donde existen áreas de gran potencial agrícola, como la llamada Meseta Tarasca (Barbosa, 1989). Este tipo de suelo está formado de materiales ricos en vidrio volcánico, que comúnmente tienen un horizonte superficial oscuro y son ricos en materia orgánica. Estos suelos retrasan la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, ya que para estos el aluminio, que está en forma moderadamente soluble, resulta tóxico, por lo que la materia orgánica se acumula. (Fitzpatrick, 1984; Fassbender y Bornemisza, 1987).

Debido a lo anterior, una alternativa viable en este tipo de suelos es la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en las semillas destinadas a la siembra, que traen a la planta hospedera los beneficios antes mencionados, así como proporcionarles un área de exploración mayor de las raíces.

El maíz es una planta muy susceptible de micorrizarse. Se ha reportado en esta especie un efecto positivo en el crecimiento en las plantas micorrizadas. Por otra parte, el haba también es susceptible de micorrizarse, y ambas especies se han reportado como micorrizadas en parcelas de suelo andisol (Reeves, 1992; Sánchez, *et al.*, 1997; Sánchez, *et al.*, 2000; Sánchez, 2000; Vargas y Villagrán, 2000).

Justificación

Dos de las especies agrícolas tradicionales de México son el maíz (*Zea mays*) y el haba (*Vicia faba*). Son importantes en la alimentación de comunidades rurales por su valor proteico, además de que pueden cultivarse juntas en intercultivo. Por otra parte, existen tecnologías que permiten aprovechar de manera más eficiente los nutrimentos, tanto los presentes en el suelo, como los adicionados en la fertilización, tanto de tipo químico como orgánico. Una de estas tecnologías es la aplicación de inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que logran con el cometido mencionado. Por lo anterior en la presente investigación surge el interés por resolver algunas interrogantes que pueden ser comunes al productor agrícola como al investigador encargado de la producción de inoculantes:

Si se combinan diferentes tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica con micorrizas arbusculares, ¿cual es la mejor combinación en términos de rendimiento?

En el desarrollo de las plantas con estos diferentes tratamientos, ¿qué sucede con parámetros tales como P y N foliar, crecimiento aéreo y colonización micorrízica total, vesicular y arbuscular?

Las anteriores dudas sustentaron el interés por evaluar en una parcela cuyo suelo es un andisol, el efecto de las MA sobre el rendimiento de un cultivo mixto de maíz y haba, aplicando composta y fertilizante inorgánico, de manera que con esta investigación se podrán formular recomendaciones a los productores agrícolas con la visión de producir cada vez mayores volúmenes de granos con el menor impacto ambiental. Con lo anterior se contribuye a la investigación de las relaciones micorriza arbuscular – andisol – fertilización.

Rizosfera. El ambiente en torno a la raíz donde proliferan los microorganismos se llama rizosfera, y se ha dividido en tres áreas: a) ectorrizosfera, que es la zona alrededor de la raíz; b) rizoplano, que es la zona de la superficie de la raíz; y c) la endorrizosfera, que involucra la epidermis y las células corticales de la raíz. La ectorrizosfera puede extenderse a distancias considerables de la raíz con el desarrollo de hongos micorrízicos, y es a esta región a la que se le llama micorrizosfera. En la rizosfera existe un flujo de compuestos producto de la fotosíntesis, los cuales son exudados por la raíz en forma de carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, enzimas, nucleótidos, flavononas, así como hormonas vegetales, y otros compuestos importantes para la actividad microbiana. Puesto que la raíz crece hacia abajo, las células que se producen para cubrir a la raíz inducen la formación de un mucigel que ayuda a lubricar la raíz, permitiendo que la raíz pase a través de los agregados del suelo. Este mucigel es clasificado como exudado de la raíz. Los exudados de la raíz son una fuente útil de nutrimentos para las poblaciones microbianas y a la vez los microorganismos pueden estimular la exudación de las raíces (Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994; Ferrera-Cerrato y García, 1997).

Una micorriza es la asociación de hongos con raíces de plantas superiores, de manera que es realmente el "órgano" principal involucrado en el abastecimiento de nutrimentos para las plantas terrestres. La presencia del asociado fúngico de los sistemas micorrízicos en la región de la raíz, sobre o dentro de los tejidos de ésta, y el suelo circundante, influye en la absorción de las sustancias nutritivas del suelo por el hospedero y es estimulada por sustancias exudadas por el mismo hospedero. A este respecto el hongo micorrízico es un miembro especializado de la región de la raíz o rizósfera.

Las micorrizas arbusculares (MA) son aquellas cuyos hongos participantes son Glomeromicetos, aseptados. El simbiote vegetal puede pertenecer a cualquier División del reino Plantae: Briofitas (especialmente hepáticas), casi todos los grupos de Pteridofitas, todos los grupos de Gimnospermas y la mayoría de las familias de Angiospermas. Pueden ser árboles, arbustos o hierbas. Las hifas del hongo se establecen alrededor de la superficie de la raíz y penetra tanto entre como dentro de las células del fitobionte. Estos hongos forman típicamente haustorios ramificados (arbusculos) y pequeñas vesículas en el interior de los tejidos del hospedero, usadas como almacén. Estas vesículas se llenan generalmente con lípidos. (Harley y Smith, 1983; Saxena, *et al.*, 2000).

Los hongos que participan en este tipo de micorriza no son específicos en cuanto a su hospedero, y su parecido anatómico hizo pensar que la mayoría de estas colonizaciones eran causadas por el mismo hongo, pero se observaban diferencias en el grado de susceptibilidad al hospedante, por lo que su clasificación taxonómica es como se muestra en el cuadro 1 y anexo I.

Las vesículas son cuerpos ovoides, ricos en lípidos. Son expansiones de 10 a 100 μm de la hifa entre las células, y los arbusculos son hifas ramificadas similares a los haustorios de los fitopatógenos. Estos arbusculos son los sitios de transferencia para nutrimentos minerales del hongo a la planta y para fotosintatos de la planta al hongo y posteriormente, por vía del hongo al suelo. Los arbusculos persisten dentro de las células vegetales individuales en un período de 4 a 10 días. Después de este período degeneran, la hifa se retrae y nuevas unidades son formadas en otras células. Una breve descripción de los géneros se explica en el anexo I, así como el ciclo de vida de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). En el cuadro 1 se muestra la clasificación de estos hongos.

Cuadro 1. Clasificación de los hongos micorrízicos arbusculares.

| Clase | Orden | Familia | Género |
|----------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Glomeromycetes | Glomerales | Glomeraceae | <i>Glomus</i> |
| | Paraglomerales | Paraglomeraceae | <i>Paraglomus</i> |
| | Archaeosporales | Archaeosporaceae | <i>Archaeospora</i> |
| | Diversisporales | Acaulosporaceae | <i>Acaulospora</i> |
| | | | <i>Entrophospora</i> |
| | | Gigasporaceae | <i>Gigaspora</i> |
| | | | <i>Scutellospora</i> |
| | | Diversisporaceae | <i>G. etunicatum</i> |
| | | | <i>G. sporcum</i> |
| | | | <i>G. versiforme</i> |

Fuente: Alarcón, (2001) y Franco, (2002).

Los beneficios de la simbiosis.

- Incremento en la captación tanto de nutrimentos como de agua, al aumentar el área de absorción.
- Movilización incrementada de nutrimentos, como producto de la descomposición biológica de la materia orgánica.
- Incremento de la longevidad de la raíz alimentadora por provisión de impedimentos biológicos para la infección de la raíz por parte de patógenos del suelo.
- Acumulación de elementos tales como N, P, K, Ca, Zn, agua, y su translocación al tejido del hospedero.
- Provee a la planta de hormonas, tales como auxinas, citocininas, gibberelinas, y reguladores de crecimiento tales como vitaminas del complejo B.
- Incremento de la tolerancia de la planta a condiciones adversas, tales como falta de agua, pH extremo, temperaturas extremas y presencia tanto de toxinas como de metales pesados.
- Aumento de materia orgánica del suelo al integrarse las hifas micorrízicas.
- Aumento en la tasa de fotosíntesis, lo cual aumenta en consecuencia tanto la biomasa de la planta como la del hongo (Gupta y Mukerji, 2000).

Por otra parte, la transferencia de nutrientes entre las zonas de raíz de plantas asociadas está influida por las MA, cuyas hifas colonizan y conectan las raíces de plantas adyacentes. Hay una distribución de recursos en comunidades vegetales, optimizada por el movimiento de nutrientes por gradientes de concentración entre la MA donante y las plantas receptoras. Los flujos de nutrientes entre plantas son de interés particular con asociaciones leguminosa – no leguminosa, porque las leguminosas exudan parte del N fijado biológicamente al suelo, estando entonces este nutriente disponible a las que no son leguminosas. La transferencia de N a través de la micorriza varía con la fuente de este elemento. La transferencia de otros nutrientes además del N es variable y puede ser significativa y bidireccional; la dirección del flujo está relacionada con el balance entre la fuente y la demanda. Sin embargo, la utilización efectiva de hongos MA en intercultivos requiere de determinar la compatibilidad del hongo con los hospederos de interés, y un entendimiento de los altibajos en las demandas nutritivas en las plantas asociadas. El hongo, al interconectar a varios individuos, iguala la distribución de los recursos y regula la composición y funcionalidad de las comunidades de las plantas conectadas. Los hongos micorrízicos favorecen la eficiencia comunitaria en el uso de nutrientes, y al crecer en la matriz del suelo, hacen accesible el P de la masa del suelo que está más allá de las zonas de agotamiento creada por las raíces de las plantas. Al parecer las MA pueden estar involucradas en el desarrollo de islas de fertilidad que caracterizan a las regiones áridas (Bethlenfalvay, 1993; Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994).

El estado nutricional del hospedero en respuesta a la toma aumentada de minerales procedentes del suelo cambia aspectos estructurales y bioquímicos de las células de las raíces, pudiendo alterar así la permeabilidad de la membrana, y por tanto la calidad y cantidad de la exudación de las raíces. La exudación alterada induce cambios en la comunidad de microorganismos en el suelo de la rizosfera, o mejor dicho, micorrizosfera. (Bethlenfalvay, 1993; Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994; Gupta y Mukerji, 2000).

La micorriza arbuscular y otros microorganismos. Bansal, *et al.*, (2000) establecen que las interacciones entre HMA y otros microorganismos del suelo pueden agruparse de la siguiente manera: Positivas / sinérgicas y negativas / antagónicas.

Relaciones positivas / sinérgicas. Los HMA son conocidos por sustentar el crecimiento de varios grupos de bacterias, actinomicetos y hongos. Por ejemplo: *Frankia* (actinomiceto simbiótico fijador de N atmosférico), con *Glomus fasciculatum*; *Rhizobium leguminosarum* (bacteria simbiótica fijadora de N) con *Glomus mosseae*; *Azospirillum brasilense* (bacteria fijadora de N de vida libre) con *Glomus fasciculatum*; *Pseudomonas sp.* (bacteria promotora del crecimiento vegetal) con *Glomus versiforme*; *Bacillus megaterium* (bacteria solubilizadora de fosfato) con *Glomus macrocarpum*; *Fusarium oxisporum* (hongo) con *Glomus intraradices* Bansal, *et al.*, (2000).

Según Linderman, (1992), en los suelos que han sido esterilizados en autoclave o con rayos gamma las esporas de *Glomus epigaeus* no germinaron, mientras que en suelos no estériles, las esporas de *Glomus mosseae* contaminadas con bacterias colonizaron más raíces de plantas en suelo estéril que las esporas no desinfectadas, de manera que las bacterias de alguna manera estimulan la germinación de las esporas.

Generalmente, la colonización de raíces por HMA favorece la nodulación por las bacterias fijadoras de N (*Rhizobium* en plantas leguminosas), e incrementa el número de nódulos en plantas que están micorrizadas con respecto a las que no están micorrizadas. La tasa fotosintética de plantas micorrizadas, y un gran porcentaje de los fotosintatos van a los nódulos de las raíces micorrizadas que en las plantas no micorrizadas. Además, el contenido de P en los nódulos es mayor que en las plantas no micorrizadas, lo cual hace que el tamaño de los nódulos sea mayor y que aumente la energía requerida para la fijación de N. Con ambos simbiontes presentes, el crecimiento de la planta es generalmente mayor que sólo con un simbionte. Se establece que el aumento en el crecimiento se debe a la nutrición incrementada con P, así como la captación efectiva de Cu y Zn por la MA, lo cual debe favorecer la fijación de N por parte de *Rhizobium*.

Los actinomicetos del género *Frankia* forman asociaciones simbióticas con fanerógamas perennes leñosas, tales como *Alnus*, *Cercocarpus*, entre otras. Al igual que los rizobios, este actinomiceto fija N atmosférico. En el género *Ceanothus* se ha establecido que las plantas asociadas con ambos simbiontes tienen aumentos en su peso, número de nódulos, el peso de los nódulos y actividad de la nitrogenasa que en las plantas en las que solamente se han inoculado con el actinomiceto.

Algunas bacterias diazotróficas de vida libre de los géneros *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*, fijan N₂ atmosférico y algunas interactúan posiblemente con micorrizas. Cuando estas bacterias, tales como *Azospirillum* o *Azotobacter*, son combinadas con hongos MA, el crecimiento de los cultivos inoculados puede incrementarse. Sin embargo, el mecanismo responsable es controversial, porque el incremento algunas veces ocurre sin la evidencia de la fijación incrementada de N o incremento del N foliar. En tal caso, se ha sugerido que estas bacterias producen hormonas que incrementan el crecimiento vegetal, tales como citocininas.

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal producen fitohormonas, algunas de las cuales afectan la morfología de las raíces, tales como el ácido giberílico y el ácido indolacético, que deben ser absorbidas por las hifas de los HMA. La absorción directa por parte de las plantas se ha observado, pero ha de ser aumentada con la micorrización de las raíces.

Se han demostrado interacciones sinérgicas entre micorrizas arbusculares y bacterias solubilizadoras de fosfato, como *Pseudomonas* y *Agrobacterium spp* al observarse incremento tanto en el peso como en los niveles de N y P foliares y colonización de raíces por HMA. Así mismo se han observado interacciones positivas para la producción entre las MA y microorganismos productores de fosfatasas ácidas y bacterias promotoras del crecimiento de las plantas. Sin embargo, más que por solubilizar el fosfato, lo anterior es debido a que las bacterias antes citadas producen vitaminas que estimulan a los HMA, y por ende, la absorción de fosfato del suelo para la planta (Linderman, 1992).

Relaciones negativas / antagónicas. Muchas de las interacciones negativas de los HMA se dan con hongos patógenos de las plantas y nemátodos. Hay varios reportes de la ocurrencia inhibitoria sobre los HMA por parte de varios hongos patógenos, pero hay pocos reportes de hongos del suelo inhibiendo el crecimiento y multiplicación de HMA. Hay microorganismos del suelo que inhiben la germinación y el crecimiento de HMA. De ahí en apariencia el hecho de que haya supresión tanto de la germinación de las esporas de HMA y como de respuestas en el crecimiento en algunos suelos no estériles. Así mismo, los nemátodos pueden reducir la producción de vesículas y la esporulación (Bansal, et al., 2000).

Los HMA se han reportado con inhibición sobre patógenos de plantas, así como con efecto reductor de la severidad de la enfermedad, aunque algunos de los reportes informan efecto neutral y en otros hasta la aumenta. La reducción de los síntomas de la enfermedad se han descrito para varios hongos patógenos, para patógenos bacterianos, y para diversos nemátodos. (Singh, et al., 2000).

Existen diferentes mecanismos en que los HMA pueden interactuar con los patógenos de las plantas:

Mecanismos físicos: Consiste en la competencia física directa entre los HMA y otros microorganismos rizosféricos por los puntos de acceso en las raíces vegetales.

Mecanismos fisiológicos: La MA influye en la fisiología de las células de las raíces, alterando el consumo de energía, lo cual resulta en la alteración de la tasa de fotosíntesis, respiración, actividad enzimática y la partición de fotosintatos, induciendo que en la planta se estimule la vía de los fenil propanoides, especialmente los flavonoides e isoflavonoides, los cuales tienen actividad antimicrobiana; que se sintetizan enzimas hidrolasas, las cuales rompen enlaces glucosídicos de los componentes estructurales de los hongos patógenos. Así mismo, los HMA estimulan la expresión de genes que codifican para una preinmunización de los tejidos después de la preinfección de virus, bacterias y hongos. Los anteriores son sólo unos pocos mecanismos con los cuales la MA puede visualizarse como una biotecnología para el control de patógenos, aprovechando las relaciones antagónicas de los HMA con los microorganismos patógenos. (Bethlenfalvay, 1993; Linderman, 1992; Linderman, 1993; Bansal, 2000).

La micorriza arbuscular y la fertilización. La influencia más importante para el desarrollo de las MA, es ejercida por el nivel de P en la planta. Si hay deficiencia de P, la tasa de exudación de azúcares reductores y aminoácidos aumenta y esto es a menudo correlacionado con el aumento en la colonización micorrízica. Esto explica, cuando menos en parte, el patrón general de una relación inversa entre la aplicación de P fácilmente soluble, como el superfosfato y la infección de la raíz con MA. Así mismo, se ha observado que el Ca y el Mg reducen la esporulación e incrementa la colonización (Anderson y Liberta, 1992 citados por Pérez y Ferrera-Cerrato, 1994; Marschner, 1986). Los HMA pueden también incrementar la captación de P mineralizado al ocupar los micrositos de descomposición activa, lo cual es posible por estar involucrados en la degradación de los materiales de hojarasca. Lo anterior debe resultar en la redistribución del P en el suelo, creando hábitats donde los recursos son distribuidos en "parches" discretos. Tres hipótesis se han propuesto de manera anticipada en las que la actividad micorrízica puede contribuir con P desde el suelo a su hospedero: (I) La interacción de hongos micorrízicos y bacterias solubilizadoras de P; (II) La producción de fosfatasas por el hongo micorrízico y (III) la producción de ácidos orgánicos por la hifa micorrízica, la cual mineraliza P.

La micorriza arbuscular como biotecnología. Puede considerarse que un inoculante es el material que transporta propágulos de algún microorganismo de interés. El inóculo es por tanto, el material biológico del que se pretende establecer su crecimiento en algún otro ser vivo, al que se le puede también considerar como hospedero. Según lo anterior, un propágulo es el "germoplasma", de donde germinará o surgirá una nueva población del microorganismo de interés.

Ya en párrafos anteriores se ha mencionado la importancia de la micorriza arbuscular para las plantas, de ahí que se hayan generado diversas formas de preparar inoculantes.

Debido a que el hongo es un simbiote obligado, es necesario, para preparar el inoculante, cultivar una especie vegetal hospedera del hongo, para generación de propágulos viables. Para el caso de las MA, los propágulos son esporas o hifas provenientes de fragmentos de raíces colonizadas (Hayman, 1982). Para la propagación de inoculante se recomienda el uso de plantas con las siguientes características:

1. De crecimiento rápido (ciclo vegetativo corto);
2. Que desarrollen un sistema radical amplio con un peso fresco mayor de 50 g;
3. Que el follaje tenga una cobertura mínima para que la densidad de plantas por unidad de área sea mayor;

4. Exigencia moderada de riego;
5. Y fundamentalmente que sea altamente susceptible a la colonización micorrízica. Según lo anterior, pueden utilizarse plantas como la cebolla (*Allium cepa*), el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*), alfalfa (*Medicago sativa*) y maíz (*Zea mays*).

Normalmente el proceso inicia con el cultivo de esporas de una sola especie o de una multicepa que cuya caracterización morfológica esté bien establecida, en aspectos tales como color y tamaño. El cultivo en recipientes con suelo como sustrato proporciona un ambiente favorable para más del 95% de las especies vegetales y hongos simbióticos. El cultivo ya establecido, funciona como trampa el la cual ocurre la esporulación del hongo, y es la etapa necesaria para la preservación y caracterización taxonómica posteriores. Algunos factores ambientales que podrían limitar o impedir la esporulación son la fertilización, el pH del suelo, la temperatura y la cantidad de agua disponible. El contenido de P debe mantenerse bajo. La concentración de P y N en el sustrato debe mantenerse en un máximo de 70 mg g⁻¹ y 50 mg g⁻¹ respectivamente, para evitar la disminución de la colonización del hongo. La temperatura y el pH deben mantenerse lo más aproximado a las condiciones ambientales prevacientes cuando se aislaron por primera vez.

Después del segundo o tercer ciclo de cultivo mono-específico, es posible que ya se tenga un solo morfotipo lo que suele dar paso a la selección de las cepas, en esta etapa, el primer aspecto que requiere ser cubierto, involucra la selección de cepas altamente infectivas o efectivas. Efectivas implica que mejora el desarrollo del hospedante de manera directa o indirecta. Directamente mejorando la absorción de nutrimentos e incrementando el desarrollo a través de la producción de reguladores de crecimiento, como el ácido indol-acético. Indirectamente, la simbiosis es efectiva al proteger contra patógenos del suelo y condiciones de estrés, así como incrementar la agregación del suelo y la estabilidad del mismo. Infectivas significa que el hongo tiene la capacidad para penetrar e invadir la raíz intensamente y explorar el suelo adyacente, así como su habilidad de persistir en el sistema productivo (Manjarrez, *et al.*, 2000).

Los HMA son nativos y están presentes en muchas áreas agrícolas, de manera que no siempre es necesario inocular estos hongos para establecer micorrizas en las raíces de los cultivos. Sin embargo, las especies nativas pueden no ser efectivas en promover el crecimiento de las plantas como las cepas introducidas. Una razón para lo anterior debe ser la historia del manejo de la parcela en cuestión. Existe la evidencia de que el uso excesivo de agroquímicos selecciona a las cepas de HMA menos benéficas. Un cambio hacia una agricultura de bajos insumos y sustentable sobre tales sitios debe beneficiarse de una inoculación a gran escala con cepas efectivas. Las siguientes prácticas pueden suprimir las poblaciones de HMA :

1. Prácticas de manejo agrícola extensivas e intensivas al mismo tiempo.
2. Fertilización fosforada.
3. Labranza.
4. Rotación con plantas no micorrízicas.
5. Aplicación de pesticidas.
6. Largos barbechos.
7. Suelos que han sido incendiados.

El empleo de inóculos de MA en otros sistemas de producción vegetal está realmente justificado en casos tales como cuando el suelo ha sido seriamente perturbado, o donde las plantas han crecido en mezclas esterilizadas en macetas. Los sitios que requieren ser inoculados con HMA son:

1. Tierras de minas;
2. áreas severamente erosionadas;
3. campos inundados. (Thompson, 1994; Douds, *et al.*, 2000).

Composta. El compostaje es la descomposición de la materia orgánica por una gran cantidad de microorganismos en un medio húmedo, caliente y aireado, para dar como producto final un humus. El procedimiento se usa para transformar materiales de desecho orgánicos en un producto útil. La composta es por tanto, el conjunto de sustancias más resistentes de la materia orgánica original. La aplicación de compostas en los cultivos tiene diversas ventajas: contiene todos los elementos traza requeridos para las plantas además de cantidades utilizables de N, P, y K; absorbe y retiene cantidades considerables de agua, frecuentemente de 5 a 6 veces su propio peso; estimula la actividad de los microbios del suelo, con lo que se logra una mejor estructuración del mismo, aumenta el porcentaje de materia orgánica lo que implica de por sí la agregación de las partículas. En este caso, lo que sucede es que los cationes polivalentes, tales como Al, Fe y Ca enlazan los minerales arcillosos con la materia orgánica, y al formarse estos agregados, el suelo adquiere una mejor aireación, penetración y retención de agua. Es importante señalar que las formas de Al complejadas orgánicamente en la solución de suelo son mucho menos tóxicas a las plantas que Al^{+3} o sus monómeros hidratados (Dalzell, 1991; Ferrera-Cerrato, *et al.*, 1993).

Es importante destacar que la composta es una fuente diluida de N, P y K. Pero hay cada vez más evidencia de que se pueden obtener beneficios claros mediante el uso conjunto de composta y fertilizante químico. Esto es en parte debido a que el fertilizante químico es soluble en agua y es disponible casi inmediatamente para las plantas, mientras que los nutrientes de la composta son disponibles más lentamente a lo largo de un período mayor.

De manera que la incorporación de la composta aumenta la eficiencia del fertilizante mineral, ya que la composta mejora las características de la humedad del suelo. Así mismo, la composta genera las condiciones óptimas en la raíz para el establecimiento de micorrizas (Dalzell, 1991).

Por otra parte, Tarkalson, *et al.*, (1998), observaron que la adición de abono de vaquería por una parte y el abono composteado por otra, produjeron una alta micorrización en las raíces de frijol en comparación al suelo no tratado. El mismo autor explica: "Las raíces micorrizadas han mostrado un incremento en longitud debido a la materia orgánica; se probó que la adición de abonos de corral o composteado dieron como resultado un gran número de puntos de entrada de MA en comparación con la aplicación de fertilizantes sintéticos. Esto se atribuye a que el abono modifica la fisiología de la raíz de manera que extiende el período en que la raíz es susceptible a la infección por HMA".

Nitrógeno. El N es un elemento mayor y esencial, que se encuentra en forma tanto orgánica como inorgánica en la planta, que combinado con C, O, H, y algunas veces S, forma aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides, coenzimas y hormonas entre otras. El N inorgánico se acumula en forma de nitrato, pero predominan siempre las formas orgánicas como proteínas de alto peso molecular en las plantas.

Las plantas contienen de un 1.50% a un 6.00% de peso seco de N en muchos cultivos, con valores de suficiencia de 2.5% a 3.5% en el tejido de la hoja. Se ha encontrado de 1.80% a 2.20% en cultivos frutales y de 4.80% a 5.50% en especies de leguminosas, aunque los valores críticos varían considerablemente dependiendo de la especie, etapa de crecimiento y parte de la planta. Se han encontrado altas concentraciones en hojas nuevas, mientras que el contenido total de la planta decrece con la edad, ya sea de la planta o de la parte en cuestión. El nitrato se concentra en los peciolo y hojas, a más de 1000 ppm, durante el período vegetativo del crecimiento. Las plantas fertilizadas con amonio tienen valores generalmente altos de N que aquellas que solamente se fertilizaron con nitrato. Los cultivos de alto rendimiento deben contener de 56 a 560 kg ha¹, con el alcance de la dependencia residual sobre la deposición del cultivo.

La absorción de nitrato es estimulada por la toma de cationes, mientras que el cloruro y el hidroxilo restringen la absorción de nitrato. Un alto nivel de carbohidratos aumenta la absorción de amonio, y la absorción de amonio restringe cationes los cuales pueden conducir a la deficiencia de Ca así como niveles de K reducidos en la planta.

Las plantas deficientes en N tienen poco crecimiento, son débiles y atrofiadas. Presentan un color verde claro a amarillo. Los síntomas iniciales y más severos de deficiencia se han visto en las hojas viejas, desde donde el N es movilizado en el tejido viejo para transportarlo a las porciones que están en crecimiento activo de la planta. Las plantas deficientes de N van a madurar prontamente, con rendimiento y calidad marcadamente reducidos.

Cuando la planta tiene exceso de N muestra un color verde oscuro con follaje suculento, el cual es muy sensible de adquirir una enfermedad o de ser invadido por insectos. Pueden infestarse fácilmente, son susceptibles al estrés por sequía, y pueden malograrse los cultivos de semilla y fruta. Los granos y frutas son de pobre calidad. Si el amonio es la única o mayor forma de fertilización, puede desarrollarse la condición de toxicidad lo cual resulta en una descomposición del tejido vascular, restringiendo así la disposición de agua.

El N existe en el suelo tanto en forma de amonio como de nitrato, La disposición de tales iones por parte de la planta está influenciada por el pH, la temperatura y la presencia de otros iones en la solución del suelo. El nitrógeno existe en el suelo por efecto de la mineralización de la materia orgánica. Conforme se va degradando esta, se van liberando los iones antes mencionados, Además de la mineralización, la lluvia aporta nitratos por efecto de los relámpagos que rompen la molécula de nitrógeno molecular. Así mismo, existen microorganismos que fijan nitrógeno, esto es, la conversión de N_2 atmosférico a NH_4^+ , que sí es asimilable por las plantas. La forma nítrica es la más utilizada por las plantas, mientras que el amoniaco, al disolverse en el agua de la solución del suelo, forma el siguiente equilibrio químico:



De manera que en el suelo, habiendo agua, se puede encontrar tanto amoniaco como amonio. El amonio, por su carga positiva se adsorbe fácilmente a las partículas de materia orgánica del suelo, además de que las bacterias del suelo aerobias lo oxidan pasándolo a nitrato, que luego es asimilado por la planta.

Uno de los fertilizantes sintéticos es el nitrato de amonio (NH_4NO_3), cuyo contenido de N disponible oscila entre 33.5% y 34% del peso total. Es una sal muy soluble en agua más que otros fertilizantes nitrogenados, por lo que también es muy higroscópico y su presentación es por tanto en gránulos con alguna sustancia no apelmazante. Es un buen fertilizante por el hecho de que tiene ambas formas utilizables por la planta, de manera que es muy recomendable, ya que el nitrato es utilizado de inmediato por la planta, mientras que el amonio, al ser menos móvil, se adsorbe a los coloides del suelo y queda a disposición de la planta en un plazo de tiempo mas largo que el nitrato (Rodríguez, 1982; Fink, 1985; Jones, *et al.*, 1991).

Fósforo. El P es un elemento esencial mayor, es componente de ciertas enzimas y proteínas, del ATP, ácidos nucleicos, coenzimas y fitina y participa en los fenómenos de la regulación del pH.

Las plantas contienen 0.15% a 1.00% del peso seco de P en la mayoría de los cultivos, siendo valores suficientes de 0.20% a 0.40% en tejido foliar maduro. Los valores críticos de P son normalmente menores de 0.20% (cuando se dice que hay deficiencia), y mayores cuando la planta contiene más de 1.00% (cuando se dice que está en exceso). Altas concentraciones de P se pueden encontrar en hojas nuevas y sus pecíolos, Los cultivos altamente productivos contienen de 17 a 84 kg ha⁻¹.

El P soluble (en ácido acético 2%) está presente como ortofosfato en tallos y pecíolos de hojas de las porciones de crecimiento activo de la planta. Su concentración varía de 100 a 5000 ppm del peso seco. Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos (síntesis, respiración), los meristemos, semillas y frutos. Los efectos positivos que conlleva a una buena disponibilidad de P son: mayor desarrollo radicular, mayor crecimiento y desarrollo general de la planta, aceleración de la floración y fructificación y mayor resistencia a las condiciones adversas como clima, enfermedades, etc.

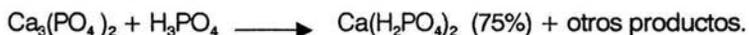
Los síntomas de deficiencia de fósforo en las plantas consisten en: Crecimiento lento, plantas débiles y atrofiadas, que pueden tener un color verde oscuro y las hojas viejas pueden mostrar una pigmentación púrpura, así como floración y fructificación pobres y retraso de la maduración. Al ser el P un elemento móvil en la planta, los síntomas de deficiencia ocurren inicialmente en los tejidos viejos. Puede haber un buen nivel de N asimilable, pero no es asimilado por la planta. Además, la planta no sintetiza proteínas ya que no hay energía para su síntesis en las uniones peptídicas

Un exceso de P provoca una deficiencia de micronutrientes, afectando primeramente Fe y Zn. El fósforo existe en el suelo en casi iguales cantidades de P orgánico e inorgánico. Las dos formas aniónicas del P en el suelo son $(H_2PO_4)^-$ y $(HPO_4)^{2-}$, dependiendo del pH del suelo. A una combinación de fosfatos de Al, Fe o Ca es la mayor fuente inorgánica; la relativa proporción de estas tres formas está en función del pH del suelo

El fósforo del suelo se encuentra constituyendo compuestos orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos son fosfolípidos, ácidos nucleicos, fitina, inositol, etc. Los compuestos inorgánicos son los que proceden de la descomposición bacteriana del material orgánico, así como de los minerales del suelo del grupo apatito, como el fluorapatito, clorapatito, hidroxapatito y de fosfatos específicos, como fosfatos de aluminio y hierro. A medida que la planta extrae el fósforo, los complejos del suelo lo van restituyendo. Aunque las formas asimilables del P están en una concentración baja, la restitución es constante.

El pH óptimo para la captación de P por parte de la planta es de 7. En medios ácidos se forman fosfatos de hierro y aluminio los cuales son insolubles; así mismo, en medios básicos, se forman fosfatos de Ca y Mg igualmente insolubles. La materia orgánica favorece la asimilación del P pues aumenta el contenido del complejo absorbente (Rodríguez, 1982; Jones, *et al.*, 1991).

La materia prima para fabricar fertilizantes fosforados son los huesos y los fosfatos naturales de origen mineral. Para fabricar superfosfato soluble se trata el fosfato natural con ácido sulfúrico concentrado, para formar fosfato monocálcico. Para obtener superfosfato triple se utiliza ácido fosfórico para el ataque, según las siguientes reacciones:



El nombre de superfosfato proviene de los primeros tiempos del abonado mineral e indica la superioridad de este fertilizante con respecto a los fosfatos naturales. (Rodríguez, 1982; Fink, 1985).

Andisoles. Los andisoles son suelos oscuros formados de materiales ricos en vidrio volcánico y que por lo común tienen un horizonte superficial oscuro, muy humoso, de color pardo oscuro a negro, migajonoso o granular. Ese horizonte pasa en forma gradual al horizonte medio B de color pardo o pardo amarillento, con una estructura angular o subangular en bloques. Con la profundidad, el horizonte medio pasa gradualmente a ceniza volcánica relativamente inalterada.

Normalmente el porcentaje de arcilla no pasa del 20 al 25%, por lo que se les considera bajos en arcilla, la cantidad mayor de arcilla se encuentra en el horizonte superior y disminuye con la profundidad hasta menos del 5% en el material materno relativamente no intemperizado. En todos los horizontes se caracteriza la esponjosidad y alta porosidad que puede pasar del 70% tanto en el horizonte superior como en el medio, lo cual se atribuye al alofano presente, el cual es el producto principal de la hidrólisis. Estos suelos varían de moderadamente a fuertemente ácidos, con valores de pH tan bajos como de 4.5 en la superficie. Sin embargo, hay un incremento constante con la profundidad hasta llegar a pH 6.0 o más en la ceniza relativamente inalterada.

El contenido de materia orgánica llega a ser alto, que normalmente llega a tener valores de más del 20% en el horizonte superior; y aunque el material parece estar en estado de descomposición bastante avanzado, y formar un complejo estable con alofano, la razón C/N puede llegar a 15, lo cual es bastante alto, más que en la mayoría de los otros horizontes muy humificados. El elevado contenido de materia orgánica implica una alta capacidad de intercambio catiónico en el horizonte superior y puede llegar a más de 35 cmol Kg⁻¹ de suelo. Abajo en el horizonte medio, desciende de 10 – 15 cmol Kg⁻¹ de suelo.

Tales datos de intercambio catiónico pueden ser engañosos, ya que el alofano no se comporta como otras arcillas minerales, pues es un silicato de estructura amorfa, es un aluminio-silicato no cristalino o poco cristalino, más ordenado que el vidrio, con una composición variable, pero formada básicamente por óxido de aluminio, sílice y agua ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). El alofano tiene una gran capacidad de adsorción debido a que tiene una superficie específica muy grande ($500 \text{ m}^2/\text{g}$) y una gran porosidad, antes mencionada. Este material tiene propiedades de intercambio muy dependientes del pH del medio. En un medio fuertemente ácido predominan las cargas positivas por lo que presenta una fuerte adsorción de aniones, siendo un caso de particular importancia la adsorción de aniones fosfatados.

La interacción de aniones con el alofano involucra tres reacciones diferentes: La adsorción no específica, la adsorción específica y descomposición de los materiales adsorbentes causada por los iones adsorbidos.

1. La primer reacción mencionada es la electrostática, debido a las cargas en la superficie del mineral.
2. La segunda reacción, adsorción específica, es la incorporación del anión en la capa de coordinación de un átomo de Al o Fe; evidentemente estos aniones no serán intercambiables. Se sabe que en los diferentes fosfatos, el fluoruro, el silicato, el arsenato, el selenito y el molibdato, son algunos de los aniones que entran en adsorción específica. Como resultado de estas reacciones, los suelos con alofano inmovilizan grandes cantidades de aniones, siendo necesario su abonamiento.
3. Por medio de la tercera reacción, ocurre una transformación del alofano con los fosfatos en tarakanitas.

Además, el alofano adsorbe fuertemente sustancias orgánicas mediante fuerzas de Van Der Waals, y la consecuencia de ello es que la materia orgánica se acumula más que lo que se degrada. Este efecto se acentúa con la presencia de Al en forma moderadamente soluble. (Fassbender y Bornemisza, 1987; Fitzpatrick, 1980).

Al disolverse un gránulo de super fosfato triple monocálcico en este tipo de suelos, el gránulo se hidrata por flujo capilar y transferencia de vapor de agua, y al disolverse las partículas, se tiene la siguiente reacción:



La producción de H_3PO_4 baja el pH de la solución saturada hasta un valor aproximado de 1.5. Este ión, al reaccionar con los diferentes cationes existentes en la solución de suelo (Ca, pero especialmente Fe y Al), da origen a la precipitación de fosfatos poco solubles y por ende, poco aprovechables por las plantas (fosfatos férricos y aluminicos) (Cajuste, 1977; Fassbender y Bornemisza, 1987).

Además, cuando las partículas coloidales tienen en su superficie grupos de tipo (Al, Fe) – OH se da un efecto que consiste en neutralizar la carga positiva por adsorción de aniones que se pueden representar en la reacción:



Por lo visto, además de generar una reacción ácida, la mayor parte del fertilizante fosforado puede adsorberse, precipitarse y especialmente, reaccionar con el alofano.

Por otra parte, la mayor parte del N en los suelos está en la fracción húmica, la cual se descompone muy lentamente, dejando este nutrimento disponible a esa velocidad, mientras, los materiales orgánicos frescos se descomponen rápidamente y liberan N en forma de proteínas, que finalmente se mineralizan a amonio. Este amonio puede ser asimilado por las plantas o por los microorganismos. En el caso especial de los andisoles, se han demostrado mecanismos que explican la estabilidad del N en el humus, a saber:

- a) Estabilización de N de proteínas por reacción con lignina;
- b) Estabilización NH_4^+ por reacciones con lignina;
- c) Estabilización de NO_3^- por reacciones del ácido nítrico con la lignina;
- d) Estabilización de proteínas con reacciones con arcillas y
- e) La carencia de una fuente de energía aprovechable, para promover el desarrollo de microorganismos necesarios para descomponer el humus (Cajuste, 1977).

Además, el nitrato de amonio reacciona también acidificando el suelo, y también su uso por parte de las plantas es ineficiente, ya que si bien el nitrato es utilizado directamente por las plantas, una parte del amonio puede volatilizarse en forma de amoníaco, y la otra parte puede quedar adsorbida en los coloides del suelo. (Cajuste, 1977; Fassbender y Bornemisza, 1987; Fitzpatrick, 1984).

Encalado. La adición de los fertilizantes químicos incrementa la acidez del suelo, y en estas condiciones se ha comprobado que no sólo existe un efecto negativo sobre el desarrollo de los rizobios, que son las bacterias que fijan nitrógeno simbióticamente con las raíces de las leguminosas, sino también que entre especies de estos y de plantas hospederas hay una apreciable variabilidad en su tolerancia a la acidez; mientras que por su parte, los hongos, que son más tolerantes a estas condiciones y con pocos competidores, son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica. Ante tales condiciones la práctica del encalado acelera la mineralización al mejorar de manera general el desarrollo de los microorganismos al elevar el pH.

El encalado tiene una influencia múltiple sobre la dinámica del fósforo del suelo, ya que además de mineralizar los fosfatos orgánicos, también hidroliza los fosfatos férricos y aluminicos, aumentando así la concentración de ión fosfato en la solución del suelo y disminuye la capacidad de fijación de los fertilizantes fosfatados. (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Otros efectos que tiene el encalado en el suelo son incrementar la disponibilidad de Mg y K al disminuir la competencia de Al por los sitios de intercambio catiónico en pH 5, además de que provee un ambiente aceptable a las raíces de las plantas, ya que estas no penetran subsuelos que contienen grandes cantidades de Al intercambiable (Logan, 1992).

Maíz. En América Latina, especialmente en México, el maíz (*Zea mays*, gramínea) es considerado fundamentalmente como el alimento más importante de la dieta humana (Harrison, *et al.*, 1980). En México se consume de múltiples maneras, además de que pueden utilizarse las diferentes partes de la planta para elaborar diversos alimentos y artesanías.

El maíz es rico en almidón, que se utiliza en el lavado de ropa y en la cocina. Con cierto tratamiento químico se hace un jarabe del almidón del maíz. De parte de este jarabe se obtiene azúcar de maíz o glucosa. El almidón calentado y pulverizado se convierte en dextrina. En esta forma se emplea para preparar pastas adherentes y mucílagos, como el de los sellos de correo y de las solapas de los sobres. De los granos germinados se separan los gérmenes, los cuales se secan, trituran y se extrae de ellos, por presión, aceite de maíz. Dicho aceite se utiliza como alimento y también en la fabricación de los barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El residuo sirve como forraje.

El alcohol de maíz se emplea para fabricar caucho sintético. Los olotes de las mazorcas se emplean para elaborar pipas baratas de fumar, De los olotes se extrae también la sustancia química frutal, importante para la elaboración de resinas, disolventes e insecticidas, Los olotes se usan también como combustible. Los tallos y vainas se emplean para hacer colchones baratos. La médula de los tallos sirve para elaborar algodón pólvora, así como para obtener una pasta par el modelado de figuras religiosas. La pulpa de la caña del maíz se emplea para fabricar papel. En la construcción de ciertos tabiques se utilizan cañas de maíz en vez de yeso. Las hojas sirven para elaborar artesanías ("mullitas") y el rastrojo de las cosechas suele emplearse como sustrato en el cultivo de hongos comestibles (setas) (Borja, 1990).

El maíz es un cultivo tropical con elevado potencial productivo, al ser una planta C_4 , tiene un alto rendimiento fotosintético, ya que asimila de manera más efectiva CO_2 ; posee un coeficiente de transpiración de 300 (300 g de agua transpirada por gramo de biomasa seca producida), lo que indica que su necesidad de agua es relativamente baja (300 l de agua para producir 1 kg de materia seca); sin embargo, hay que considerar que por su elevada productividad, esta necesidad de agua es importante en valores absolutos.

El agua no le debe faltar en el período de máximo crecimiento. Es un cultivo que requiere temperaturas elevadas y una gran iluminación. Tiene una temperatura óptima de germinación entre 10 y 30° C. Es muy sensible a heladas tardías (Marschner, 1986).

Es muy adaptable a los diferentes tipos de suelo, pero los mejores para este cultivo lo son los francos, profundos y fértiles. En el maíz, la absorción de nutrimentos se anticipa considerablemente sobre la producción de materia vegetal, de tal manera que cuando la planta ha alcanzado un 30% de desarrollo, ya ha absorbido el 45% de P, el 55% de N y casi un 70% de K. Corresponde al período de xiloteo. Para las producciones que se persiguen como objetivo de 17 – 18 000 kg ha¹, el maíz debe de extraer del suelo un total aproximado 500 kg de N, 200 kg de P₂O₅ y 400 kg de K₂O. Se recomienda aplicar todo el fertilizante potásico y fosforado en el momento de la siembra, mientras que del nitrogenado sólo una porción, aplicando la segunda en el momento de la escarda, después de la eliminación de las malezas (Domínguez, 1989; Parsons, 1990; Tisdale, 1991).

En Estados Unidos la producción de maíz ha pasado de una media de 2230 kg ha¹ en los años 50 a 7000 kg ha¹ en 1980. Esta última cifra ha sido superada por Italia, mientras que en España, en los mismos años, pasó de 1570 a 5100 kg ha¹ (Domínguez, 1989). En el cuadro 2 se muestra la producción de maíz en México.

Cuadro 2. Producción de maíz

| Lugar | Año | Producción | Fuente |
|--------------------------|-----------|--------------|-------------|
| Estados Unidos Mexicanos | 1997 | 2.384ton/ha | INEGI, 1998 |
| Estado de México | 1997-1998 | 3.049 ton/ha | INEGI, 1999 |
| Villa Victoria | 1995-1996 | 4.034 ton/ha | INEGI, 1997 |

El maíz es una planta que puede micorrizarse, de hecho, Thompson, (1986), citado por Thompson, (1994), usando regresión múltiple estableció que la colonización de las raíces de maíz y trigo con *Glomus* spp. estuvo positivamente correlacionada con la concentración de N de las raíces, y negativamente relacionada con la concentración de P.

Haba. El haba (*Vicia faba*, de la familia Fabaceae) es una de las legumbres cultivadas más antiguas del mundo, y se ha encontrado asociada con restos de la Edad de Hierro en varias partes de Europa. Las habas destinadas a fines culinarios se recolectan cuando están casi completamente maduras, se pelan enseguida y se guisan. El rastrojo puede emplearse como abono verde, y es importante también porque en sus raíces las bacterias del Género *Rhizobium* fijan nitrógeno atmosférico, contribuyendo a una menor dependencia de fertilizantes químicos.

Esta especie es anual y tolerante al frío, de hecho, requiere una estación fría para un mejor desarrollo.

Se ha cultivado en zonas subtropicales y templadas como especie anual en invierno; en Europa pueden soportar temperaturas de 10° C, y es muy tolerante a suelos ácidos, sin necesidad de un encalado (Harrison, et al., 1980). Al ser una especie C₃, es menos eficiente que las plantas tropicales (plantas C₄) en cuanto al uso del agua y CO₂, ya que la eficiencia relativa de uso del agua es de más de 600 g de agua transpirada por gramo de biomasa seca producida. Así mismo, son también menos eficientes en el uso de nutrimentos que las plantas C₄, pues estas últimas producen más biomasa seca por unidad de nutrimento absorbido (Marschner, 1986). En México se siembran anualmente con haba 125000 ha, principalmente en los Estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y partes de Michoacán, Veracruz, Guanajuato y D. F. El 90% de las siembras se realiza bajo condiciones de temporal (Langer y Hill, 1991; Tornero, et al., 1993).

En el Estado de México, en el período 1997 – 1998 se sembraron 15 ha de temporal, y se cosecharon 94.95 toneladas (INEGI, 1999), de manera que la producción media para ese año fue de 6.33 ton ha⁻¹. En el período de 1979 a 1994, China tuvo una producción fluctuante de 1161 – 1447 kg ha⁻¹; Argentina reportó una producción record: 9000 kg ha⁻¹ seguida de Suiza, con 3350 – 4350 kg ha⁻¹ en el período de 1992 a 1994. (www.hort.pardue.edu, 2003).

Guzmán y Ferrera, (1990), mencionan al haba como una especie leguminosa de la que se ha reportado formación de MA. Las leguminosas como el haba tienen la particularidad de satisfacer sus necesidades de N mediante dos vías: asimilación de N mineral proveniente del suelo y asimilación del N molecular de la atmósfera, al ser inoculadas con una cepa fijadora de *Rhizobium*, el nitrato inhibe la formación de nódulos en *Vicia faba*, mientras que investigaciones posteriores con otras especies leguminosas, mostraron que el nitrato afecta el proceso de infección, el desarrollo de los nódulos, la expresión de la nitrogenasa y activa los procesos de envejecimiento de la simbiosis. Esto, porque al aplicar el nitrato antes de la inoculación, inhibe el reconocimiento de la soya por el *Rhizobium* y el buen establecimiento de los nódulos. La inhibición depende más de la concentración de nitrato en la solución que la cantidad de nitrato absorbido por la planta (Alcántar y Tirado, 1991; <http://www.hort.pardue.edu/newcrop/crofactsheets/fababean.html>. Véase también el Anexo III).

Antecedentes

Ren, *et al.*, (2000) estudiaron los efectos de diferentes fuentes de N en el crecimiento y acumulación del mismo nutrimento en plantas de maíz haciendo muestreos a diferentes edades de las plantas (1). A los 77 días después de la siembra (dos semanas después del xiloteo, equivale al primer muestreo de este trabajo). El rendimiento de Chem-N fue el más grande, y significativamente diferente de GM + 1/3 y Peat + 1/3N. Una cantidad considerable de N se acumuló en el grano. El efecto de los tratamientos sobre la distribución de N en varios órganos fue casi el mismo como el efecto sobre la acumulación de N total. En esta etapa, el limbo de la hoja acumuló N continuamente pero una pequeña cantidad de N en el tallo fue redistribuida en otros órganos, especialmente el grano. Para los 120 días después de la siembra (equivale al segundo muestreo), se registró también un aumento en la acumulación de este nutrimento excepto en el tratamiento Chem-N. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos Chem-N, comp., comp. + 1/3N, comp. + 2/3N, GM + 1/3N y Peat + 1/3N, mientras que comp. + 2/3N tendió a acumular más N que los otros tratamientos, y Comp registró la menor acumulación.

Una forma tradicional en México como en muchas partes del mundo es sembrar los cultivos asociando especies diferentes. Álvarez y Ferrera-Cerrato, (1994) mencionaron la función de las MA en un agroecosistema tradicional en Tabasco, México, y observaron mayor actividad de las micorrizas en el sistema tradicional (leguminosa-maíz-calabaza) que en el monocultivo de maíz. Los contenidos de materia orgánica y de N en el suelo y los rendimientos de maíz fueron mayores en el sistema tradicional.

Se tienen antecedentes de asociación de maíz con haba y otras especies, por ejemplo, Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994, mencionan que en Tlaxcala, los campesinos practican los policultivos en los que combinan maíz - frijol - calabaza, haba; en este agroecosistema se mezclan el haba con el maíz, de manera que el maíz se siembra de 10 a 15 días más tarde que el haba, cuando el haba madura, se cosechan las vainas y el resto del follaje se deja como abono encima de las hileras de maíz, y debido a que este residuo se descompone fácilmente ayuda al maíz en su crecimiento y reduce la necesidad de fertilizantes químicos.

(1) CK = Sin fertilizante; Chem-N = fertilizantes químicos N, P, y K a 140-80-80 kg g⁻¹ respectivamente; comp. = composta equivalente a 140 kg N ha⁻¹, comp + 1/3 = composta que proporcionó 140 kg N ha⁻¹ y 23.5 kg de urea ha⁻¹; comp + 2/3N = composta que proporcionó 140 kg N ha⁻¹ y 47 kg urea ha⁻¹; GM + 1/3 N = abono verde que proporciona 140 kg N ha⁻¹ y 23.5 kg urea ha⁻¹; peat + 1/3 N = turba que proporcionó 140 kg N ha⁻¹ y 23.5 kg de urea ha⁻¹. Los muestreos se realizaron a los 22, 33, 56, 77 120 días después de la siembra

Así mismo, la asociación haba – maíz puede tener otras ventajas. Se tienen antecedentes de la presente investigación de que en el terreno en que se realizó el experimento, se intentó sembrar haba, pero el cultivo no prosperó por la plaga de insectos (frailecillo). En este experimento se notó la presencia de este insecto depredando el follaje del haba, sin embargo, el hecho de que se sembró en combinación con el maíz pudo haber propiciado que las plantas de haba quedasen demasiado separadas, diluidas entre las plantas de maíz. He aquí una ventaja de combinar cultivos en un mismo espacio y tiempo.

Tornero, *et al.*, (1993). reconocieron tres sistemas agrícolas de producción de haba:

1. "Cultivo único de haba en surcos: A este sistema agrícola corresponden todas las siembras de haba que se realizan como cultivo sólo en surcos. Después de la cosecha, la tierra queda en descanso hasta el año siguiente. Generalmente se siembra el haba después del maíz..."
2. "Cultivo único de haba sembrados en surcos, imbricado con manzano en franjas alternas: Se trata de un cultivo perenne caducifolio, el manzano, establecido en hileras, con imbricación de haba sembrada en surcos y distribuidas en franjas alternas al manzano. Después de cosechar el haba, el suelo permanece en descanso hasta el siguiente ciclo..."
3. "Cultivo único de maíz asociado sobre el surco con haba: En este sistema se encuentra a los dos cultivos asociados, es decir, sembrados juntos en surcos, la madurez fisiológica ocurre más o menos al mismo tiempo. Después de la cosecha de estos, el suelo permanece en descanso el resto del año..." . Los dos últimos sistemas antes mencionados son los menos frecuentes en la región de Llanos de Serdán, Puebla (5% y 5%, respectivamente), mientras que el cultivo único de haba en surcos es el más frecuente en la misma zona (90%).

En la zona de estudio (Municipio de Villa Victoria, Estado de México), el tipo de suelo es un andisol, y hay un estudio acerca de las cantidades de cal que han de aplicarse para un mejor aprovechamiento de los nutrimentos presentes en el suelo, (Cruz y Hernández, 1995). Este estudio consistió en el uso del método de acidez hidrolítica para establecer las necesidades de cal en esos suelos, para neutralizar la acidez intercambiable del suelo atribuible a iones H^+ y monómeros y polímeros de $Al([Al(H_2O)_6]_3$ y $Al[Al(H_2O)_5OH]_2$. Para Villa Victoria reportaron como mínimo 356.8 kg ha¹, y como máximo, 2519 kg ha¹ mientras que la media fue 1519 kg ha¹.

Así mismo, en la zona se han realizado estudios acerca de asociaciones simbióticas entre microorganismos del suelo y plantas superiores. Sánchez, 2000 probó en la misma zona de Villa Victoria, 3 genotipos de maíz (blanco, pico de gorrión y negro), con y sin cal (2 ton ha¹), fertilizando con 100 kg ha¹ de sulfato de amonio y 80 kg ha¹ de superfosfato triple de calcio; aplicó inoculación con *Azospirillum brasiliense* encontrando que el encalado, además de aumentar la biomasa de los diferentes genotipos de maíz aumenta la colonización MA nativa, pero no presentó un efecto marcado sobre la inoculación con *Azospirillum brasiliense*. Sin embargo las plantas presentan rangos bajos de N y suficiencia de P. En ese experimento la inoculación con la bacteria resultó eficiente, ya que todas las plantas inoculadas manifestaron un incremento en su rendimiento en materia seca con respecto a los inoculados. La colonización por parte de HMA nativos y la inoculación bacteriana de manera simultánea favorecieron el rendimiento de grano seco en los tres genotipos de maíz con respecto a los tratamientos fertilizados.

Sánchez, *et al.*, (1997) evaluaron la relación simbiótica entre los HMA y cultivos de maíz, para lo cual aplicaron dos dosis de super fosfato triple de calcio (40 y 60 kg ha¹), y una dosis de urea (80 kg ha¹) en tratamientos con y sin inóculo MA. Encontraron colonización micorrízica en los tratamientos tanto inoculados como los no inoculados, además de que notaron que hay una relación entre la presencia de arbusculos y vesículas con la edad de la planta. En el mismo trabajo, las autoras inocularon además con la bacteria *Azospirillum* (con y sin inóculo), mostrando que las plantas con doble inoculación se caracterizaron por presentar menor rendimiento (Arrollo y Martínez, 1997).

Montaño, *et al.*, (2000) evaluaron la colonización MA nativa de dos genotipos de maíz (negro y V23) y dos de trigo (Berros y San Cayetano), caracterizados como menos y más eficientes en el uso de N y P, respectivamente, en un ejido de Villa de Allende, Estado de México, región aledaña a la zona en que se realizó este experimento, y que por tanto el suelo es un andisol. En cuanto al maíz, el genotipo con baja eficiencia nutrimental presentó mayor colonización de MA, con 75% y fue significativamente menor en los genotipos más eficientes con 64%. El porcentaje de colonización MA disminuyó significativamente al aumentar el suministro de N + P, así como al aumentar la edad de la planta, de manera que la colonización MA depende de la disponibilidad de nutrimentos, especialmente P.

Sánchez, *et al.*, (2000) colectaron 10 leguminosas silvestres y 5 cultivadas en los Municipios de Villa de Allende y Villa Victoria, y todas presentaron doble simbiosis, de las cuales la más eficiente fue la colonización MA sobre la colonización por rizobios. Los valores más bajos de colonización tanto MA como por rizobios se presentaron en zonas cercanas a los cultivos. Una de las leguminosas presentes entre las especies cultivadas fue *Vicia faba*,

En esta especie, detectaron, con relación a las MA, que la colonización total fue de más de 80%, arbuscular fue mayor de 40%, y vesicular más de 20%, mientras que la colonización por rizobios fue de 50%.

Por su parte, Reeves, (1992), encontró que las plantas de haba fueron más competitivas por el N del suelo que las de maíz cuando estas eran micorrizadas y que la colonización MA no interfería en la transferencia del N fijado o N del suelo tanto en haba como en maíz.

Vargas y Villagrán, (2000) compararon el efecto de un inóculo de suelo andisol ("inóculo ácido", el mismo que se utilizó para este trabajo) con el de un suelo salino sódico (tomado de las parcelas experimentales de la FES Zaragoza, UNAM), para lo cual usaron haba en condiciones de invernadero, y encontraron algunos datos que se muestran en el cuadro 3:

Cuadro 3. Comparación del efecto de inóculos de suelo ácido y sódico

| Efecto en: | Inóculo ácido | Inóculo salino sódico |
|--|----------------------|------------------------------|
| Esporas/100 g suelo seco | 3165 | 750 |
| Esporas/100 g suelo salino sódico húmedo | 961 | 260 |
| Longitud de raíces | Mayor | Menor |
| Altura | Mayor | Menor |
| Vigor | Mayor | Menor |
| No. Vainas | Mayor | Menor |
| Rendimiento | Mayor | Menor |
| Col. Total | Mayor | Menor |

Lo cual indica que el inóculo del Bosque de Bosencheve es más eficiente que el de un suelo salino sódico, sus HMA colonizan mejor que los HMA del suelo salino sódico.

Zona de estudio

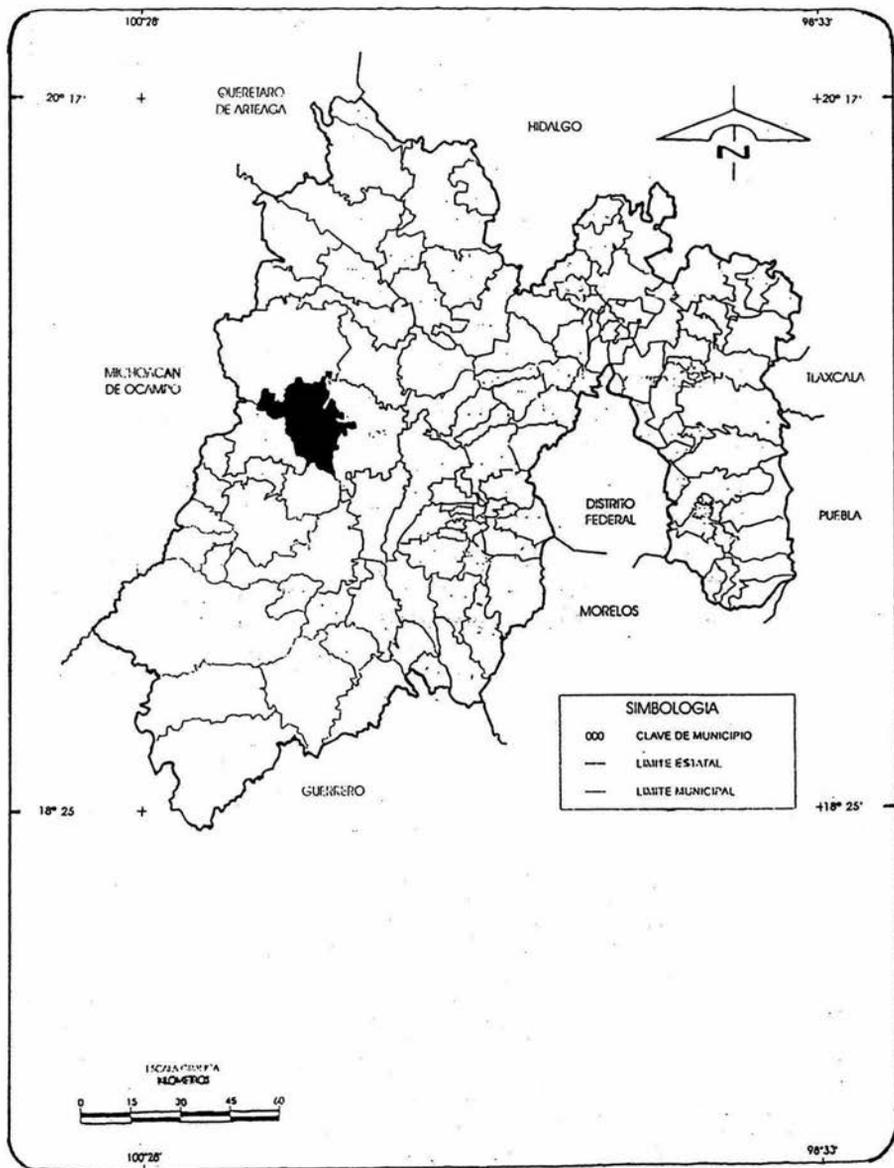
El área de estudio donde se realizó el trabajo experimental se localiza en el rancho El Nopal, en la localidad "El Hospital", Municipio de Villa Victoria, Estado de México, México. La parcela se ubica a 2590 msnm, a los 99° 54' 40.44" longitud oeste y 19° 25' 56.880" latitud norte (INEGI, 1999; véanse mapas 1 y 2).

Fisiográficamente, pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico, y a su vez a la subprovincia "Lagos y volcanes de Anáhuac"; el sistema de topofomas predominante es de lomeríos.

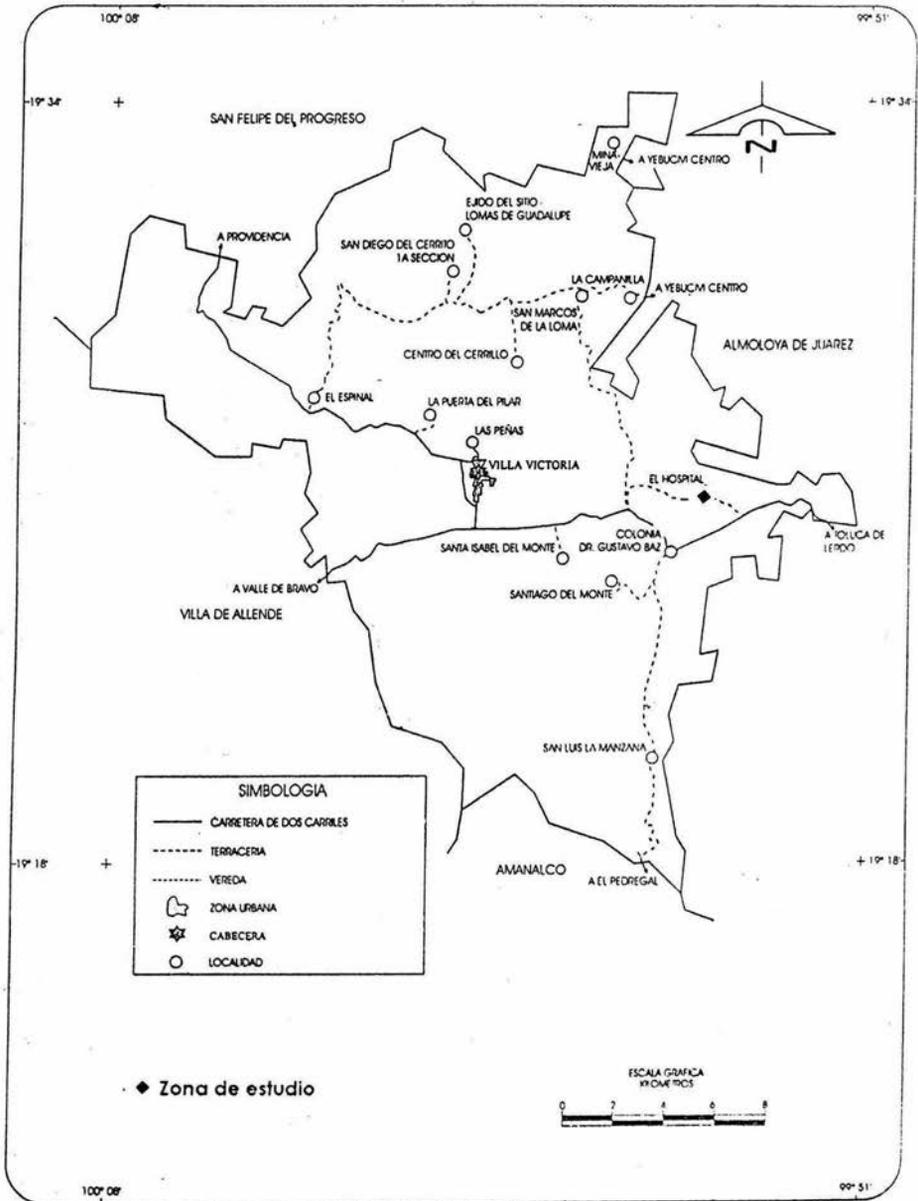
Geológicamente, la región tuvo su origen en la era Cenozoica, en el período Terciario; el tipo de suelo es volcánico-sedimentario y la unidad litológica es volcánoclastica.

Presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w2)).

En la zona se localizan pequeñas áreas de bosque de pino-encino y se practica la agricultura de temporal anual, de cultivos como maíz, trigo, cebada, frijol, haba, calabaza y maguey pulquero (INEGI, 1998; INEGI, 1999).



Mapa 1. El municipio de Villa Victoria en el Estado de México



Mapa 2. Localización de "El Hospital" con relación a la cabecera municipal de Villa Victoria.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Se espera que los hongos micorrízicos arbusculares favorezcan la absorción de P y N aplicados al suelo como fertilizante inorgánico, como composta o como la combinación de ambos, traduciéndose en incremento tanto del rendimiento como del crecimiento, en haba y maíz.

Objetivo general.

Evaluar el rendimiento de los cultivos de maíz y haba al inocularse con micorrizas arbusculares, aplicando P y N en forma orgánica e inorgánica.

Objetivos específicos.

1. Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo de la parcela.
2. Evaluar la colonización micorrízica arbuscular en maíz y haba en las etapas de plántula y floración.
3. Determinar la acumulación de N y P foliar en el cultivo de maíz y haba, en los diferentes tratamientos.
4. Evaluar el efecto de la inoculación sobre el rendimiento de maíz y haba, en los diferentes tratamientos.
5. Analizar el crecimiento de las plantas en términos de altura, en función de los tratamientos empleados.

Material y método

Diseño experimental. Se establecieron 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, con una distribución completamente al azar estableciendo 24 unidades experimentales de 36 m² cada una, como se muestra en el cuadro 4:

Cuadro 4. Tratamientos experimentales.

| Tratamiento | Componentes | Abreviatura |
|-------------|--|-------------|
| 1 | Testigo | T |
| 2 | Fertilizante inorgánico | F |
| 3 | Fertilizante inorgánico y micorrizas | F - M |
| 4 | Fertilizante inorgánico, micorrizas y composta | F - M - C |
| 5 | Composta y micorrizas | C - M |
| 6 | Composta | C |

En cada surco de cada unidad experimental se intercalaron 5 matas de maíz con 4 de haba. Cada montículo midió 5 m de largo y cada unidad experimental tuvo 5 montículos levantados con tractor. Se sembraron 5 semillas de maíz y 3 semillas de haba por cada mata.

Análisis de suelo. Se tomó una muestra compuesta de suelo en el área de estudio antes y después de la siembra (Pulido, 1989), a la que se le determinaron en el laboratorio las propiedades mostradas en el cuadro 5:

Cuadro 5. Determinaciones físicas y químicas del suelo

| Propiedad | Método | Fuente |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Conductividad eléctrica | Extracto 1:5 | Jackson, (1982) |
| Densidad aparente | De la probeta | Palmer, (1977) |
| Densidad real | Del picnómetro | Reyes, (1996) |
| % Espacio poroso | Relación DR - DA | Pulido, (1989) |
| % Humedad | Gravimétrico | Pulido, (1989) |
| Textura | Bouyoucos | Pulido, (1989) |
| pH activo | Extracto 1:2.5 H ₂ O | Jackson, (1982) |
| pH potencial | Extracto 1:2.5 KCl 1N | Reyes, (1996) |
| % Materia orgánica | Walkley y Black | Jackson, (1982) |
| P aprovechable | Bray y Kurtz | Ruiz y Ortega, (1979) |
| % Nitrógeno | Semimicrokjeldahl | Ruiz y Ortega, (1979) |
| Núm. De esporas | Tamizado-decantado | Ferrera-Cerrato, (1993) |

Encalado. Se realizó un encalado del suelo dos meses antes de la siembra utilizando cal viva (CaO) a una dosis de 1.5 Ton / ha, dosis que está dentro del intervalo recomendado por Cruz y Hernández, (1995).

Fertilización orgánica. Para la fertilización orgánica, se empleó composta ya elaborada (donada por la empresa Nocon), aplicando una dosis de 10 ton / ha para ambos cultivos.

Fertilización inorgánica. Para la fertilización química se emplearon superfosfato triple de calcio y nitrato de amonio, aplicando dosis de 60 Kg / ha y 50 Kg / ha respectivamente para el maíz y 30 Kg / ha y 25 Kg / ha respectivamente, para el haba. El fertilizante nitrogenado se aplicó en dos dosis iguales, una en la siembra y la otra en la primer escarda, mientras que el fertilizante fosforado se aplicó en la siembra. Cabe destacar que estas dosis de fertilización química fueron la mitad de lo que se usa en la localidad en el caso del maíz, mientras que para el haba, fue la cuarta parte de lo que se utilizó en el maíz.

Inoculación micorrízica. De manera previa a la siembra, se preparó el inoculante de la siguiente manera:

1. Se colectó suelo superficial del bosque del Parque Nacional de Bosencheve, Estado de México.
2. En una parte de ese suelo se sembraron 200 semillas de maíz, con el objeto de que estas semillas se colonizaran de hongos micorrízicos de esa zona.
3. A otra parte de ese suelo se le tamizó con un tamiz de 2 mm de abertura y se esterilizó para emplearse como vehículo del inoculante, durante 3 horas.
4. A los 30 días de sembradas las plantas de maíz, se cosecharon las raíces, se les retiró el sustrato y fueron lavadas de la siguiente manera: se lavaron con agua de la llave para la eliminación del sustrato; se mantuvieron 5 min. en una solución de blanqueador 10%, se enjuagaron con agua destilada varias veces hasta eliminar el cloro.
5. En la campana previamente esterilizada, se cortaron las raíces en fragmentos de menos de 0.5 cm y se mezclaron con la turba estéril.

Para los tratamientos micorrizados fue necesario inocular de la siguiente manera:

1. Un día antes de la siembra, se impregnaron las semillas de haba con goma arábica al 10%, (4 ml de goma arábica / kg de haba), y se le agregó el inoculante (234 g de inoculante /kg de haba), de manera que en todas las semillas quedase el inoculante adherido.
2. Se procedió de igual manera para el maíz (24 ml de goma arábica / kg de maíz, 2 kg de inoculante / kg de maíz).
3. Se almacenaron en bolsas de plástico hasta el momento de la siembra.

Semillas utilizadas. Se emplearon semillas de maíz de la variedad "pico de gorrión", y semillas de haba variedad *major*, que en la región es conocida como "poblana".

Porcentaje de colonización micorrízica. Se tomaron muestras de raíces en la etapa de plántula, en el caso del maíz (a los 76 días después de la siembra), y de manera similar para el haba en la etapa de floración (a los 125 días después de la siembra).

Las muestras de raíces tomadas en campo como las de la planta de propagación del inóculo (maíz) se fijaron en FAA para posteriormente cuantificar la colonización de las MA, lo cual requiere de montar las raíces teñidas en portaobjetos para posteriormente evaluarse al microscopio óptico. (Ferrera-Cerrato, *et al.*, 1993).

P y N foliares. A los 76 y 125 días después de la siembra se tomaron muestras del follaje de ambas especies para su respectivo análisis de P y N foliar, mediante los métodos del vanadomolibdato y semimicro-kjeldahl, respectivamente (Jackson, 1984). En el segundo muestreo de maíz, se tomó la hoja bandera.

Cuantificación de esporas. Se cuantificaron las esporas en el suelo de la parcela como también en la turba empleada para la elaboración del inoculante, por el método de tamizado – decantado (Sieverding, 1983 citado por Ferrera-Cerrato, *et al.*, 1993). Se tomaron muestras de esporas y se montaron en unas PVL y otras en el reactivo de Meltzer, para su posterior identificación utilizando el microscopio y claves.

Rendimiento. Se midió la altura de las plantas a los 76, 125 y 157 días de edad.

Se cosechó el haba a los 157 días de edad de la planta, tomando sólo las vainas de los surcos centrales de cada unidad experimental, para posteriormente pesarse (peso fresco), y medir la longitud de las vainas. Todo ello con el propósito de calcular el rendimiento por tratamiento.

Se cosechó el maíz a los 180 días de edad, extrayendo de las unidades experimentales las mazorcas de los surcos centrales, como en el caso del haba, para posteriormente realizar el cálculo de rendimiento, según el método siguiente:

R = Rendimiento por hectárea en kg a 15% de humedad.

$$R = (PCP)(MS)(D)(H)(F)$$

PCP = Peso de campo, por parcela.

MS = Ración de materia seca en la muestra:

MS = Peso seco de la submuestra / Peso fresco de la submuestra

D = Fracción de desgrane = Peso del grano / (peso del grano + olote)

H = Factor para llevar el peso seco = $100/85 = 1.176$

F = Factor para convertir kg/parcela en kg/ha

F = $(10000\text{m}^2 / \text{ha}) / \text{Área útil cosechada en m}^2$.

Área útil cosechada = No. de surcos x distancia entre surcos x longitud del surco cosechado. (CIMMYT, 1983).

En el caso del haba se siguió casi el mismo procedimiento, pero sin quitar la vaina y sin secar, de manera que los resultados reportados fueron en kg por ha, en fresco y en vaina, ya que esta es una presentación en el mercado. Se calculó el área útil cosechada para que a partir de ella se calculase el factor que convierte metros cuadrados en hectáreas, (ha) y se multiplicó por el peso de campo por parcela, de la siguiente manera:

$R = \text{PCP} \times F$

Análisis de resultados. En esta etapa se procesaron los datos obtenidos en el trabajo tanto del laboratorio como de campo. Se realizaron los cálculos correspondientes para obtener los parámetros físicos y químicos del suelo, se compararon las medias de los diferentes tratamientos mediante la prueba de Tukey (Reyes, 1978), utilizando el programa de cómputo "STATGRAPHICS", así mismo, de manera simultánea, se realizó la discusión de los mismos para posteriormente establecer las conclusiones.

Resultados y discusión

Parámetros del suelo. Del análisis de suelo realizado en el laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 6):

Cuadro 6. Resultados del análisis de suelo.

| Parámetro | Sin encalar | Postcosecha |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Densidad real | 2.344 g cc ⁻¹ | 2.45 g cc ⁻¹ |
| Densidad aparente | 0.958 g cc ⁻¹ | 1.072 g cc ⁻¹ |
| % humedad | 4.27% | 5.26% |
| % espacio poroso | 59.129% | 56.244% |
| % arena | 45% | 50% |
| % limo | 27.05% | 27.59% |
| % arcilla | 27.95% | 22.41% |
| % materia orgánica | 5.8022% | 4.5362% |
| pH real | 5.190 | 5.453 |
| pH potencial | 4.773 | 5.000 |
| Fósforo extractable | 17.224 mg kg ⁻¹ | 34 mg kg ⁻¹ |
| % Nitrógeno | 0.3749% | 0.2851% |
| Conductividad | 0.1077 ds m ⁻¹ | 0.4457 ds m ⁻¹ |
| Relación C/N | 15.4766 | 15.9109 |
| Clasificación textural | Migajón arcillo arenoso | Migajón arcillo arenoso |

El suelo en que se realizó este experimento es un andisol, según la carta edafológica 1:1 000 000.

La densidad real obtenida es menor al valor medio aceptado internacionalmente, que es de 2.65 g cm⁻³ (Miramontes, 1978; Ortiz-Solorio y Ortiz-Villanueva, 1990), debido a que este suelo está formado por alofano, el cual es relativamente muy ligero.

La densidad aparente para los andisoles es de 0.85 g cm⁻³ de manera que entre estos suelos el de esta investigación resultó ligeramente más denso (Fitzpatrick, 1984).

Se nota una disminución del espacio poroso, lo cual se atribuye al empleo de la maquinaria agrícola. Así mismo, y por consecuencia aumentó la densidad aparente. El alto porcentaje de espacio poroso se adjudica también a la presencia del alofano. El caso estudiado no llega al 70% de espacio poroso reportado por Fitzpatrick, (1984) para otros andisoles.

Según la técnica de Bouyoucos se trata de un suelo clasificado como migajón arcillo arenoso, pero que según el triángulo de texturas, tiende a ser un suelo franco. Al tacto se siente rasposo moderadamente pegajoso y embarroso o jabonoso (Fitzpatrick, 1984; Cavazos y Rodríguez, 1992).

De acuerdo con Reyes, (1996), es un suelo extremadamente rico en materia orgánica (5.8 y 4.5%), pero según Fassbender y Bornemisza, (1987), los valores de porcentaje de materia orgánica ubican a este suelo entre las categorías de pobre y medio, tratándose de un suelo derivado de cenizas volcánicas. Los bajos valores en materia orgánica se deben a la mineralización de la misma desde que la parcela se destinó a la producción agrícola, ya que según la información de los dueños, normalmente se emplean fertilizantes químicos pero no abonos. En este tipo de suelo se han reportado valores de hasta 20%. Estos altos valores de materia orgánica se explican por tratarse de un suelo que fue forestal, en el que se favorece la estabilización del humus al formar complejos órgano-minerales con el alofano en el horizonte más superficial. Debido a estas interacciones, la materia orgánica se acumula en el horizonte más superficial. (Fassbender y Bornemisza, 1987; Fitzpatrick, 1984). Puede verse, según los anteriores resultados, que disminuyó el porcentaje de materia orgánica, indicando una mineralización de la misma dejando a su vez nutrimentos libres para el aprovechamiento por las plantas.

En términos globales, la composta no hizo incrementar el contenido de materia orgánica en la parcela, pero sí tuvo efectos localizados en los tratamientos, como se verá en los análisis que se muestran más adelante. Esto se debe a que la composta se aplicó en el sitio en que se sembró la semilla solamente, no fue una aplicación generalizada.

Como puede verse, el pH real subió menos de una unidad (de 5.19 a 5.4) con el encalado, lo cual indica que se requiere una mayor dosis de cal que la recomendada por Cruz y Hernández, (1995) para subir hasta un pH de 6, y lograr así una mayor disponibilidad de nutrimentos para la planta. Según Fitzpatrick, (1984), estos suelos pueden tener un pH tan bajo como de 4.5 en la superficie, y en estas condiciones hay una fuerte adsorción de iones fosfato. Con el pH del suelo en cuestión, deja, por lo tanto, con más libertad a los iones fosfato para ser absorbidos por las raíces.

Los valores de concentración de P son altos (Reyes, 1996) para este tipo de suelo y para el análisis empleado (17 a 34 mg kg^{-1}) lo cual puede explicarse por dos situaciones: primero, aunque el encalado subió menos de una unidad de pH mejoró la disposición de los iones fosfato, al hidrolizar los fosfatos férricos y aluminicos, y aún sin la cal el suelo tenía ya por sí un pH, según Reyes, (1996) "moderadamente neutro", o mejor dicho, de "moderada acidez", según Ortiz y Ortiz, (1990); y segundo, al disminuir el porcentaje de materia orgánica, puede verse que hubo una mineralización de la misma, que al descomponerse ponía en libertad iones fosfato.

Todo lo anterior condujo a un incremento de fosfato en el suelo. Es importante recalcar que el aumento es en general de la parcela, no puede atribuirse a la fertilización fosfatada, que también fue de aplicación muy localizada (en el sitio de siembra).

El suelo en que se llevó a cabo el experimento fue rico en N antes y después del experimento (0.375 a 0.28%), aunque hay que resaltar que hubo un decremento de este elemento en porcentaje, que es debido a la absorción por parte de las plantas, y debido a que el amonio se volatilizó como amoniaco procedente de los coloides del suelo, no tanto del fertilizante añadido (Reyes, 1996), porque como en los casos de la materia orgánica y de la fertilización fosforada, la aplicación del fertilizante nitrogenado también fue muy localizada. Así mismo, esa riqueza de N puede deberse al manejo que previamente se ha hecho del suelo a partir de fertilización química excesiva, igual que en el caso del fósforo.

La relación C/N (de 15.4 a 15.9) de acuerdo con Cajuste, (1977) y Tisdale y Nelson, (1988), es baja, lo que indica que hay liberación de N mineral debido a la mineralización de la materia orgánica, que será aprovechable tanto para los microorganismos del suelo como para las plantas, así como también existe una tendencia hacia la pérdida del amonio no aprovechado. Con lo anterior puede verse que más que humificación y acumulación de la materia orgánica hay mineralización de la misma, lo cual también puede verse en el cambio negativo de porcentaje de la misma de antes a después del experimento (Tisdale y Nelson, 1991; Fassbender y Bornemisza, 1997).

Por otra parte, es un suelo sin problemas de salinidad, ya que presenta muy baja conductividad, aunque hay que resaltar que aumentó posiblemente debido a la adición de fertilizantes químicos como a la mineralización de la materia orgánica (Velasco, 1983; Fitzpatrick, 1984).

Cantidad de esporas del suelo. Las muestras de suelo del bosque de pino encino que fueron utilizadas como fuente inoculante de HMA contenían en el momento del muestreo 3339 esporas por 100 g. Es el suelo en que se cultivaron las plantas trampa de maíz. Por su parte, el suelo de la parcela contaba con 1885 esporas por 100 g de suelo. A estas últimas esporas se debe la colonización de los tratamientos no inoculados, que dicho sea de paso, en algunas repeticiones fueron más eficientes que las que fueron inoculadas. (Cuadro 6). La diferencia en el número de esporas es de esperarse, ya que el suelo para el inoculante se obtuvo de la capa superficial del bosque de Bosencheve, que es una zona muy bien conservada si se la compara con una parcela agrícola. La parcela se caracteriza por ser del mismo tipo de suelo que el bosque, ya que están relativamente cercanos. De hecho, los lugareños informaron que en tiempos pretéritos fue un bosque.

En la actualidad la parcela es de uso casi doméstico, no es un terreno inclinado, y en él se aplican, en cada ciclo agrícola, plaguicidas y fertilizantes químicos, así como el empleo de maquinaria agrícola.

Werner, 1992, menciona que el número de esporas en el suelo varía de acuerdo al cultivo y a la densidad de siembra. Varía entre 10 y 2000 esporas / kg de suelo (entre 1 y 200 esporas / 100 g de suelo). Los conteos de esporas y la infectividad no están correlacionados del todo. Esto es debido a la infectividad de hifas de HMA y que la capacidad de algunos hongos, como *Gigaspora gigantea*, para generar varias hifas de germinación (más de diez) de una espora. Así mismo, la cantidad de esporas el suelo depende de la perturbación que el suelo haya sufrido (Hayman, 1982). Véanse por ejemplo los casos del cuadro 7:

En el suelo de la parcela como en el del inóculo, se distinguieron esporas de *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora* siendo *Glomus* el género más abundante

Cuadro 7. Cantidad relativa de esporas en diferentes suelos

| No. de esporas / 100g suelo | Características del suelo | Fuente |
|-----------------------------|---|---------------------------|
| 6 a 1 590 | Pastizales, montes y bosques | Hayman, (1982) |
| 1 a 200 | En general | Werner, (1992) |
| 2 900 | Suelo no perturbado | Boddington y Dodd, (2000) |
| 1 200 | Suelo perturbado con un pico | Boddington y Dodd, (2000) |
| 2 500 | Agostadero perturbado con agricultura y ganadería | Medrano, (2002) |
| 20 000 | Agostadero con menos perturbación | Medrano, (2002) |
| 3 339 | Bosque de pino encino (inóculo) | Este trabajo |
| 1 885 | Parcela experimental | Este trabajo |

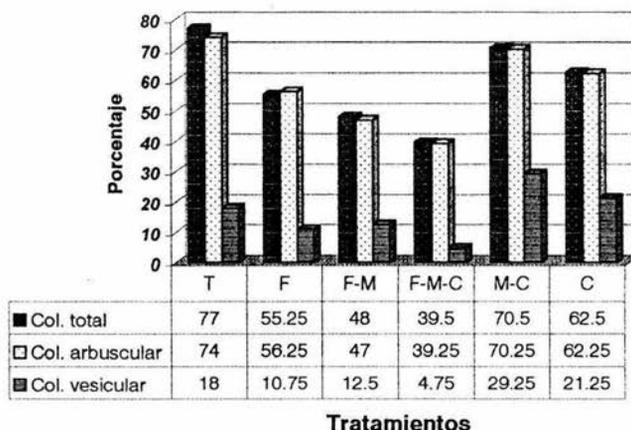
Porcentajes de colonización micorrízica en maíz. En la gráfica 1 se muestran los porcentajes de colonización total (barras negras), arbuscular (barras blancas) y vesicular (barras grises), en maíz (plántula) en función del tratamiento.

En esta gráfica puede verse que el tratamiento con mayor colonización total corresponde al testigo (T), con casi el 80% por ciento de colonización, lo cual pone de relieve una mejor colonización de las cepas nativas que la introducida, y en general hay una mejor colonización en los tratamientos sin fertilizante químico. El tratamiento con menor colonización total es el de F-M-C.

En general puede verse que los tres tratamientos fertilizados inhibieron la micorrización, como ha sucedido en otros trabajos (Azcón y Barea, 1988; Paul y Clark, 1989; Thompson, 1994). En el apéndice I, cuadros 14 y 15 se muestra el análisis estadístico el cual indica que hay diferencia estadística entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados (véanse los contrastes entre los tratamientos T y F, T y F-M, F-M-C y M-C, F-M-C y C, F-M y M-C).

Un comportamiento similar ocurrió con la colonización micorrízica por arbusculos debido a que las estructuras que sobresalieron por su abundancia en la colonización en las raíces fueron básicamente los arbusculos más que las vesículas, esto se explica por la edad de la planta. Según los cuadros 18 y 19 del mismo apéndice, hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T y F-M, T y F-M-C, y F-M-C y M-C.

Gráfica I. Porcentaje de colonización micorrízica en maíz



T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta; Col. total = colonización total; Col. arbuscular = colonización arbuscular; Col. vesicular = colonización vesicular.

La colonización por arbusculos no pasa del 80%, mientras que la colonización por vesículas no es superior a 30%, lo cual se debe a que a esta edad de la planta la actividad micorrízica más importante es el intercambio de nutrimentos entre ambos simbioses que el almacenamiento en vesículas por parte del hongo. La mayor abundancia de arbusculos con relación a las vesículas se debe a que primeramente se forman los arbusculos al poco tiempo de la colonización y posteriormente las vesículas. Lo anterior está en función de la edad de la planta. (Werner, 1992; Bago, 2000). En los cuadros 16 y 17 se muestran los resultados del análisis de Tukey en el apéndice I, Puede verse que las medias son muy similares, sólo hay diferencia significativa estadísticamente entre los tratamientos F-M-C y M-C.

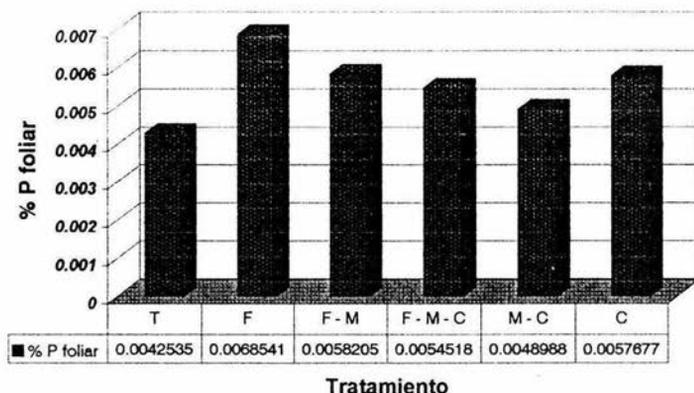
En todos los casos, se observa una mayor colonización en los tratamientos de T, M-C y C, lo cual puede indicar que en la etapa de plántula (a los 74 días después de la siembra), la colonización (especialmente la arbuscular) se ve estimulada por tratamientos orgánicos o sin ellos, mientras que los tratamientos con fertilizantes químicos inhiben la colonización del hongo en la raíz. Esto demuestra un antagonismo entre la fertilización química y la micorrización.

La mayor colonización arbuscular es debido a que en ocasiones anteriores se han sembrado en esa parcela cultivos capaces de micorrizarse. Según el ciclo de vida de los HMA, el micelio externo libera esporas al suelo después de la producción de estructuras ramificadas de absorción (Bago, 2000). Karasawa, *et al.*, 2000, en un experimento que realizaron en macetas, notaron que plantas no micorrízicas sembradas en andisol no dejan tantas esporas en el suelo como cuando el experimento se realizó con plantas micorrizables. Lo anterior indica que el cultivo continuo de plantas micorrizable aumentan la cantidad de esporas en el suelo, que pueden colonizar cultivos posteriores. Obviamente, si en temporadas anteriores se sembraron plantas micorrízicas, en la parcela hay una abundancia suficiente de esporas que colonizarán las raíces de plantas micorrizables cultivadas posteriormente.

P foliar en maíz. El tratamiento que presentó un mayor porcentaje de P foliar en el primer muestreo, fue el de fertilizante solo (F), y el que menos fósforo concentró en sus tejidos fue el del testigo (T) (gráfica 2), lo cual muestra la dependencia de fertilizante fosforado por parte de los cultivos en ese suelo. Sin embargo, los resultados obtenidos no tienen diferencias estadísticas significativas entre ellos, estando todos en un grupo homogéneo. Puede verse en la gráfica 2, que hay una ligera tendencia a una mejor absorción de fósforo en los tratamientos fertilizados. La excepción a esta regla sería el tratamiento de la composta. Aquí es preciso señalar que la edad de las plantas de maíz en este muestreo fue de 76 días después de la siembra (plántula).

En la gráfica 3 se muestran valores del porcentaje promedio de P foliar en hoja bandera, a los 125 días después de la siembra (2° muestreo). Puede notarse que son solamente 5 columnas en el histograma, faltando aquella del testigo. En el momento de la colecta, las plantas de las parcelas correspondientes al testigo aún no habían jiloteado, lo cual puede indicar que el fósforo de que dispusieron las plantas no fue suficiente para una floración al mismo tiempo que las demás plantas, por lo que se considera como una deficiencia aun mayor que la de los demás tratamientos.

Gráfica 2. Porcentaje de P foliar en maíz 1° muestreo



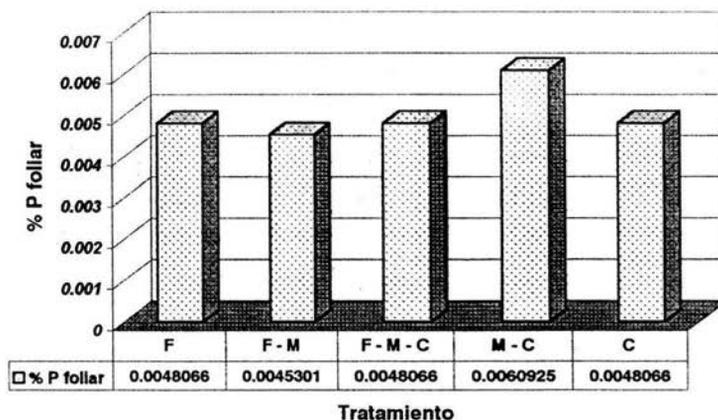
T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta; % P foliar = Porcentaje de fósforo foliar.

La más grande diferencia entre medias está entre los tratamientos F-M y M-C, y a excepción de este último tratamiento, todos los demás tienden a ser muy similares. De hecho, no hay diferencias estadísticas significativas. Así mismo, si se comparan las medias de este muestreo con las del muestreo anterior, se nota una tendencia a disminuir la concentración de fósforo foliar conforme la planta va creciendo, según puede verse en la gráfica 4. Esto es debido a que el fósforo absorbido inicialmente es usado por la planta se concentra en flores y frutos.

Por lo visto, los tratamientos fertilizados son los que aportaron una mayor cantidad de fósforo a los tejidos de las plantas del primer muestreo, mismo que disminuyó en la floración; mientras, en el segundo muestreo el tratamiento M-C fue el que propició una mayor acumulación de P foliar, debido muy posiblemente a la mineralización de la materia orgánica de la composta, proveyendo de P.

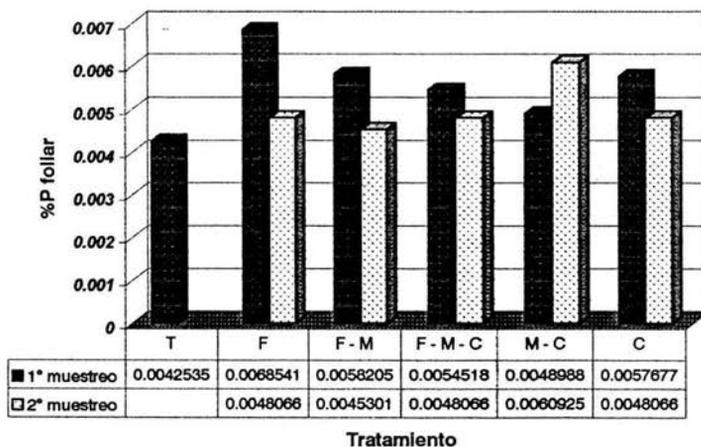
Arrollo y Martínez, (1997) también trabajaron en la misma zona con maíz, fertilización nitrofosfatada y micorrizas arbusculares (en la zona de Las Peñas), y observaron que las plantas de maíz que más fósforo foliar acumularon fueron las de los tratamientos fertilizados con fertilizante fosforado, lo cual pone de relieve la necesidad de estos suelos de fertilización fosforada para una mejor captación de P por parte de la planta.

Gráfica 3. Porcentaje de P foliar en maíz, 2° muestreo



F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta; % P foliar = porcentaje de fósforo foliar.

Gráfica 4. Porcentaje de P foliar en maíz, ambos muestreos



T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta; %P foliar = Porcentaje de fósforo foliar.

Según se explicó anteriormente, el suelo tuvo niveles altos de P asimilable, sin embargo, las plantas muestran deficiencia en este elemento, ya que según Mills y Jones, (1991), antes de la floración, el rango de suficiencia de P está entre 0.25% y 0.45%, y el valor máximo en el primer muestreo fue de 0.0068%; en la floración según este mismo autor, el rango de suficiencia es de 0.25% a 0.50%, mientras que en este trabajo, en la floración el valor más alto de acumulación de P foliar fue de 0.0060%. Ante tal situación, puede verse que el suelo aún teniendo altos niveles de este elemento, requiere por una parte una mayor dosis de cal para abatir la fijación de P por parte del alofano, y por otra, aumentar la dosis de P de manera orgánica, proveniente de compostas hechas a partir de frutos y vegetación fresca.

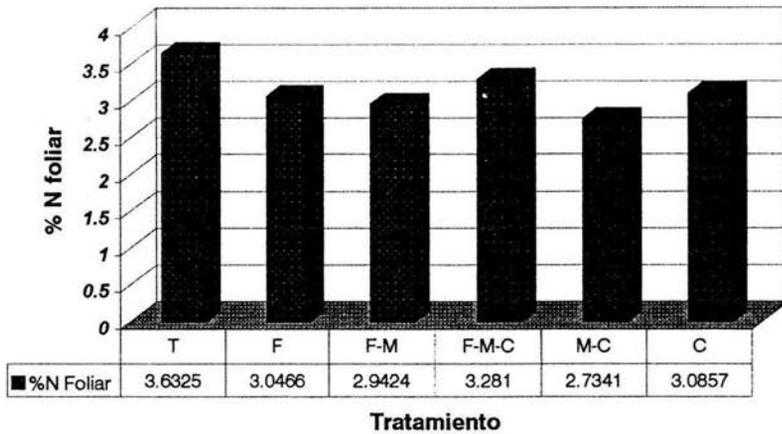
Chepkwony, *et al.*, (2001), afirman que los ciclos de secado y remojado en suelos ácidos, tanto encalados como no encalados, provoca una mineralización de la materia orgánica dejando el P orgánico a disposición de las raíces de las plantas. Este experimento se estableció en tiempos de sequía, en el mes de marzo, y las lluvias comenzaron en el mes de mayo, según esto, en mayo comenzó a liberarse P orgánico y en junio se realizó el primer muestreo, de manera que las plantas tomaron P orgánico mineralizado del suelo a un mismo ritmo, conforme estaba quedando disponible y por ello no hay diferencias estadísticas en los niveles de este elemento entre tratamientos.

N foliar en maíz. La acumulación de N foliar en maíz no tuvo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en ninguno de los muestreos.

En las gráficas 5 y 6 se muestran los valores de porcentaje de N acumulado en el follaje. La media más alta de N foliar en el primer muestreo fue T, el tratamiento que menos acumuló N fue M-C, mientras que en el segundo muestreo la media más alta fue la de C, y la menor es compartida por los tratamientos de F y M-C. En ambos muestreos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

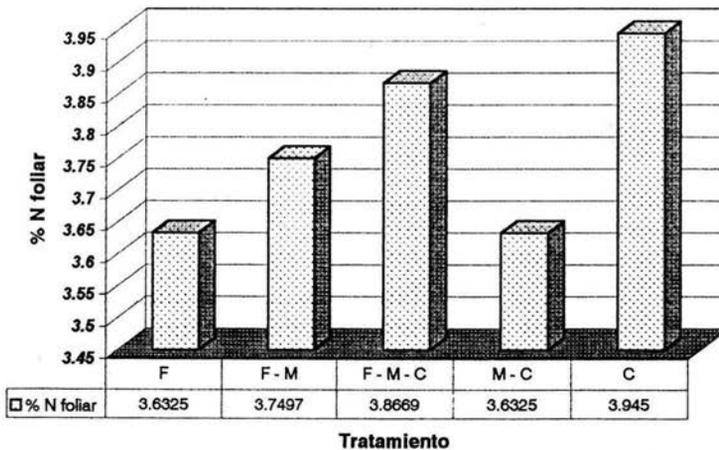
Para la edad de las plantas del primer muestreo, Mills, (1991) establece que el rango de suficiencia de N foliar está entre 3.00% y 3.50%, de manera que las plantas de los tratamientos F-M y M-C son deficientes en N; las plantas de los tratamientos F, C y F-M-C sí están dentro del rango de suficiencia, mientras que las plantas del tratamiento T sobrepasa la suficiencia. Lo anterior puede estar indicando una mineralización desigual de la materia orgánica, en términos de espacio, posiblemente influya el hecho de que tres de las cuatro unidades experimentales estén a orillas de la parcela.

Gráfica 5. Porcentaje de N foliar en maíz, 1° muestreo.



%N foliar = Porcentaje de N foliar; T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = composta.

Gráfica 6. Porcentaje de N foliar en maíz, 2° muestreo



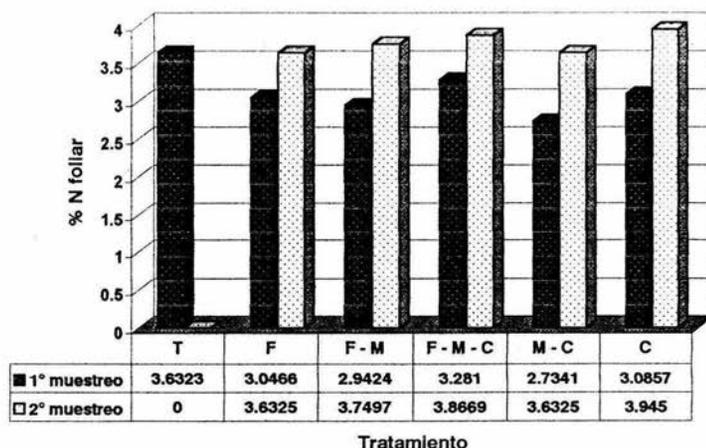
%N foliar = porcentaje de N foliar; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta:

Para la edad de las plantas del segundo muestreo, el mismo autor establece que los niveles de suficiencia están entre 2.70% y 4.00%, de manera que las plantas de todos los tratamientos analizados acumularon suficiente N foliar. Si se comparan los porcentajes de N foliar de ambos muestreos, puede verse que hay una tendencia a aumentar la concentración de este elemento conforme aumenta la edad de la planta (gráfica 7); así mismo, puede inferirse también que la dosis de fertilizante nitrogenado sí fue correcta, sin importar el tratamiento empleado, sólo requiriéndose encalar.

Por lo que puede verse en la gráfica 7, no se nota en general alguna forma de fertilización que sea importante en ambos muestreos, aunque en tratamiento F-M-C tiende a ser eficiente en ambos muestreos. Al no haber diferencias significativas entre tratamientos en los dos muestreos puede conjeturarse que las plantas tienen estrategias para obtener el N necesario sin importar el tratamiento aplicado. Según lo anterior, pueden estar presentes cepas de *Azospirillum sp.* activas fijando N, así como otros géneros, como también puede estar influyendo la mineralización de la materia orgánica.

Lo anterior también sucedió en el trabajo de Montaño, *et al.*, (2001), en el que hubo diferentes tratamientos de fertilización aplicados en maíz, y no hubieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en cuanto a acumulación de nutrimentos, al igual que en el trabajo de Ren, *et al.* 2000 (véanse los antecedentes).

Gráfica 7. Porcentaje de N foliar en maíz, ambos muestreos



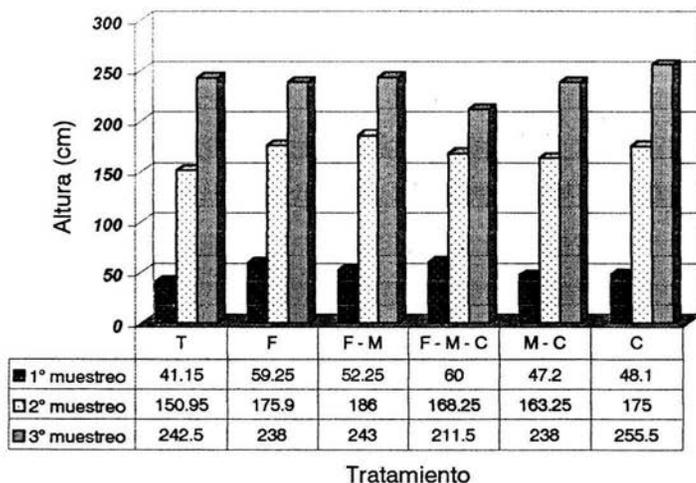
T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta; %N foliar = porcentaje de N foliar.

Longitud de las plantas de maíz por muestreo. Se midió el crecimiento de las plantas en longitud de la parte aérea como un indicador de la producción de biomasa, ya que no fue posible pesar una muestra en cada fecha y en cada tratamiento. Los análisis estadísticos se muestran en el apéndice I, tablas 20 a 25, y las medias se muestran así mismo en la gráfica 8.

El maíz tuvo una mayor variación de crecimiento en el primer muestreo que en los otros dos, lo cual puede verse en el mayor número de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (cuadros 20 y 21, Apéndice I). Tales diferencias se dieron entre los tratamientos T y F, T y F-M, T y F-M-C, F y M-C, F y C, F-M-C y M-C, y entre F-M-C y C. En el primer muestreo, el que menos creció fue el testigo, y el que más creció fue F-M-C, lo cual puede atribuirse al fertilizante agregado, lo cual también pudo haber sucedido en los otros tratamientos fertilizados. Los tratamientos no fertilizados registraron menor crecimiento.

Para el segundo muestreo se notó un crecimiento rápido, estadísticamente sólo hay diferencia significativa entre T y F-M, el comportamiento de los demás tratamientos tiende a ser uniforme. El tratamiento cuyas plantas mostraron menor altura fue el testigo, y el que presentó mayor altura fue F-M (cuadros 22 y 23, apéndice I).

Gráfica 8. Crecimiento del maíz



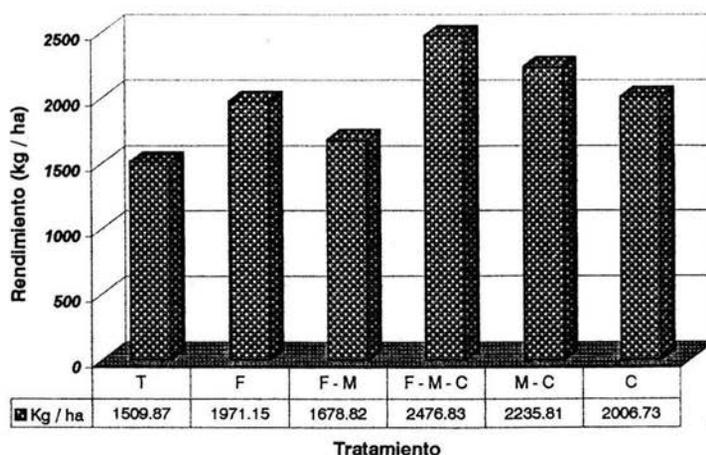
T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta.

En el tercer muestreo, el tratamiento de C fue el de mayor crecimiento, el de menor lo fue el de F-M-C, al contrario de lo que sucedió el primer muestreo, este último tratamiento había sido el de mayor crecimiento, lo que puede estar indicando una cierta precocidad provocada por la presencia de composta y micorriza. Los tratamientos T, F, F-M y M-C mostraron un crecimiento prácticamente igual. Al ser el tratamiento F-M-C el de menor crecimiento, tuvo diferencias significativas con los tratamientos T, F-M y desde luego, con el de C. Puede adjudicarse el mayor crecimiento al tratamiento de composta a la mineralización de la misma, lo cual concuerda con la relación C/N, por lo que en el primer muestreo el crecimiento en este tratamiento no fue el mejor, y en los demás muestreos presentó prácticamente una mayor velocidad de crecimiento con respecto a los demás (cuadros 24 y 25, apéndice I).

Rendimiento de grano seco. En la gráfica 9 se muestran los promedios de rendimiento de grano seco de maíz. Puede verse un comportamiento inverso a lo mostrado en la gráfica 8, las plantas de los tratamientos que crecieron más son las que menos grano produjeron en relación con los otros tratamientos, y de manera consecuente, las que crecieron menos produjeron más grano. En el crecimiento del maíz es notable, para el tercer muestreo, el tratamiento C por ser el tratamiento que más crecimiento produjo, y el tratamiento F-M-C fue el de menor crecimiento pero produjo más grano que los otros, lo que indica, al menos para el maíz que en esta especie hay dos vías de aprovechamiento de los nutrimentos: a) La producción de biomasa, entendida en este experimento como longitud de las plantas; y b) la producción de grano, si la planta no gasta mucha energía en biomasa entonces la gastará en el llenado de los granos.

Parsons, (1990) recomienda que para que un cultivo de maíz produzca 4000 kg de granos por hectárea requiere de aproximadamente 110 kg de N y 40 kg de P, entre otros elementos nutrientes, esto es en términos generales para cualquier tipo de suelo. En la zona de estudio se emplean 100 kg ha⁻¹ de N 120 kg ha⁻¹ de P. La cantidad de N se acerca a la cantidad sugerida, pero la cantidad de P es bastante mayor, de hecho es mayor que la cantidad de N. Es evidente que se requieren grandes cantidades de P para una producción redituable. Como se ha mencionado antes, en este trabajo se ha empleado una dosis que representa la mitad de la dosis local. La producción obtenida puede verse en la gráfica 9 que el máximo valor de rendimiento es de 2476.83 kg ha⁻¹, evidentemente el P es el elemento limitante, siempre y cuando el suelo sea un fijador de este elemento, lo cual redundará en la producción de fruto. Pareciera que las dosis que la gente de la zona son correctas para una producción como la que recomienda Parsons, (1990), sin embargo, es preciso destacar dos situaciones:

Gráfica 9. Rendimiento de grano de maíz



T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - composta; C = Composta kg/ha = kilogramos por hectárea.

primero, que fueron muestreadas plantas de los surcos centrales para el análisis de colonización y macronutrientes foliares; segundo: que en el secado de las semillas de maíz se infestaron de una plaga que consumía el interior del grano, lo cual dio menor peso en el momento de calcular el rendimiento. Así pues, el rendimiento de grano seco real es mayor que el mostrado en la anterior gráfica, de manera que el encalado en general y la composta en particular sí propiciaron efectos positivos en el rendimiento.

Con todo y que los tratamientos orgánicos favorecieron el rendimiento, es importante hacer notar que la fertilización es imprescindible, y depende también de la subzona, por ejemplo, Las Mesas de Zacango y Las Peñas son localidades muy cercanas a la parcela experimental de este trabajo, y sin embargo, en términos generales, en las Peñas Martínez, *et al.*, (1996) obtuvieron un mayor rendimiento que en Las Mesas. Estas autoras combinaron fertilización fosforada y nitrogenada con MA y bacterias fijadoras de N del género *Azospirillum sp.*, y encontraron que en Las Mesas los tratamientos que más rindieron fueron M-80-60, 80-40 y 80-60 (2), especialmente los dos últimos tratamientos sobrepasan los 5000 kg ha⁻¹ poniendo en evidencia la necesidad de fertilizante fosforado; en Las Peñas

(2) M-80-60 = MA +80 kg N + 60 kg P; 80-40 = 80 kg N + 40 kg P; 80-60 = 80 kg N + 60 kg P.

la doble inoculación favoreció el rendimiento en los tratamientos M-A-0-60, M-80-40, A y M-A-0-40 (3), haciendo notar que en el suelo de esa parcela existen las condiciones óptimas para tratamientos biológicos. En estos tratamientos, se sobrepasaron los 10000 kg por hectárea, lo cual significa que esos suelos tienen potencial agrícola para el maíz. En este experimento esta patente la necesidad de fertilizante fosfatado, al igual que en el experimento de este trabajo, pero como según los análisis de suelo indican que no hay deficiencias de P en la parcela, entonces es necesario promover ese P hacia las plantas con una mayor dosis de cal, una plantación continua de plantas micorrízicas y posiblemente el empleo de inoculantes de bacterias solubilizadoras de P, así como la adición de abonos que sean relativamente ricos en P. Los resultados de producción de grano son similares a la media del Edo. de México en 1996, pero son inferiores a la media de Villa Victoria y Villa de Allende en el mismo año.

Como se ha explicado anteriormente, para el análisis de colonización micorrízica solamente se realizó un muestreo. En la gráfica 1 se observa que hubo un mayor porcentaje de colonización arbuscular en dos de los tres tratamientos orgánicos y en el testigo; si se comparan las barras de los tratamientos T y F-M-C de la gráfica 1 con las de la gráfica 9, puede notarse un efecto contrario. Normalmente se espera que la micorrización incremente el rendimiento, y aquí fue al contrario, ya que el tratamiento F-M-C fue el que dio mayor rendimiento, lo cual puede significar que si la planta adquiere nutrientes del suelo de manera eficiente y los trasloca también de manera más eficiente a la inflorescencia, entonces no depende de manera importante de la micorrización; por ende, las plantas que son menos eficientes en la translocación de nutrientes del suelo a la inflorescencia si son dependientes de la micorrización. En medio de los extremos se encuentran los tratamientos M-C y C, que fueron también altos en relativamente en cuanto a rendimiento y colonización micorrízica, especialmente arbuscular. Esto último es congruente con lo que se explicaba anteriormente, en cuanto a la importancia de la adición de abonos ricos en P.

Gálvez, *et al.*, (2001) compararon sistemas agrícolas convencionales (con maquinaria agrícola) con sistemas de bajos insumos. Observaron que en los sistemas de bajos insumos hubieron altas poblaciones de esporas MA en relación al sistema convencional; la colonización en raíces de maíz por HMA fue más alta que en raíces de maíz del suelo arado con orejeras o discos. Los efectos del arado y sistema de cultivo sobre la disponibilidad de N y su utilización varió con la etapa de crecimiento de las plantas de maíz.

(3) M-A-0-60 = MA + *Azospirillum* + 60 kg P; M-80-40 = MA + 80 kg N + 40 kg P; A = *Azospirillum*; M-A-0-40 = M = MA, A = *Azospirillum* + 40 kg P.

El efecto de la labranza fue consistente por todas las etapas de crecimiento, con altas eficiencias en el uso de P en plantas bajo arado de orejera y arado de disco que en no labranza. Las plantas que crecieron en suelos no labrados tuvieron altas concentraciones de P foliar en todo el experimento.

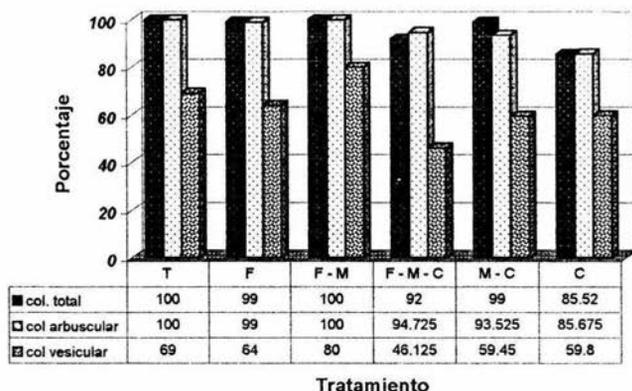
Aún con las altas concentraciones de P foliar y el aumento en la colonización micorrízica en el sistema de bajos insumos, no se observó un aumento en el crecimiento ni en la producción. Los autores explican que lo anterior se debe a que no hubo control de malezas y a las bajas temperaturas del suelo. Lo anterior, aunque no fue realizado en un andisol, da una clave de lo que puede ser perfectible en el experimento de esta tesis: el no uso de maquinaria. Antes de la siembra se levantaron los surcos utilizando maquinaria agrícola (discos), y en la etapa de plántula, poco antes del primer muestreo se levantó el surco igualmente con maquinaria agrícola. Los autores también muestran que la alta micorrización puede no ser indicativo de un alto rendimiento, más bien, la micorrización es una estrategia de la planta para sobrevivir a tensiones provocadas por bajos niveles de nutrientes disponibles a las plantas.

De acuerdo con lo antes mencionado, Montaña, *et al.*, (2001) mencionaron que una de las funciones de la micorriza es obtener P, de tal suerte que la planta tiene dos opciones: una es tomar el nutriente fosforado con una cantidad relativamente menor de energía, especialmente si proviene de fertilizante químico, y por tanto no tiene necesidad de micorrizarse; en cambio, si la planta no tiene P fácilmente disponible, entonces tiene la necesidad de micorrizarse, empleando una mayor cantidad de energía, lo cual representa una inversión a largo plazo, ya que con la micorrización obtendrá el P requerido. Esto explica por qué puede haber simultáneamente alta micorrización y baja producción de grano.

Porcentajes de colonización micorrízica en haba. En la gráfica 10 se muestran los porcentajes de colonización micorrízica total (barras negras), arbuscular (barras blancas) y vesicular (barras grises) en las raíces de haba de un único muestreo: La colecta de las plantas de haba fue en la etapa de floración, esto es, a los 157 días después de la siembra.

Puede verse que en la colonización total los tratamientos T y F-M alcanzan el 100% de colonización, y los tratamientos F y M-C llegan al 99%, de manera que estos cuatro tratamientos son muy similares estadísticamente. Aquí es especialmente interesante el hecho de que dos los tratamientos que incluyeron fertilización química, sobre todo F y F-M hayan tenido valores tan altos de colonización micorrízica, y que el tratamiento con composta haya tenido el más bajo porcentaje de todos.

Gráfica 10. Colonización micorrízica en haba



Col. Total = colonización total; col. Arbuscular = colonización arbuscular; col. Vesicular = colonización vesicular; T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta.

Según la gráfica, para las plantas de haba los HMA nativos son por mucho más eficientes colonizadores que los inoculados. Como es de esperarse, las diferencias de las medias de cualquier tratamiento con el de solamente composta es significativa, excepto F-M-C y C (ver apéndice II, tablas 26 y 27).

Los tres tratamientos con mayor colonización arbuscular en raíces de haba son T, F, y F-M, los tratamientos con relativamente menor colonización arbuscular son los que tienen composta, poniendo nuevamente de relieve que los hongos micorrízicos arbusculares nativos son más eficientes en cuanto a la colonización, en este caso, arbuscular. Es importante indicar que en la colonización arbuscular no hubieron diferencias estadísticas entre tratamientos.

En la gráfica 10 puede verse que el tratamiento con mayor porcentaje de colonización vesicular es F-M, mientras que el más bajo es el de F-M-C, de tal suerte que el efecto del fertilizante químico no puede considerarse de efecto constante, sin embargo, puede interpretarse esto como que hubo una mayor actividad de almacenamiento de nutrimentos por parte del hongo en el tratamiento F-M, pues al haber un buen suministro de nutrimentos habrá por tanto un mayor desarrollo de vesículas, y esto es congruente con los tratamientos T y F, pero no con el tratamiento F-M-C, el cual en todos los casos tiende a tener bajos valores de colonización en haba. Los tratamientos M-C y C son más altos que F-M-C, debido sobre todo a la presencia de materia orgánica proveniente de la composta. El hecho de que los tratamientos T y F presenten un porcentaje de colonización ligeramente mayor que M-C indica nuevamente que los hongos micorrízicos nativos son más eficientes en la colonización vesicular.

Kahilouto, *et al.*, (2001) realizaron experimentos en campo a largo plazo en suelos con un nivel bajo y en otro con un nivel de P extractable en cantidad intermedia inicial, a los cuales se dividió en dos tratamientos: sin fertilización fosforada y con 45 kg ha⁻¹ de P por 20 años en lino, trébol rojo y cebada. En el suelo con disposición de P inicial bajo, la fertilización acumulativa con fertilizante fosforado hizo decrecer la contribución de la MA al crecimiento de los cultivos así como la disponibilidad de nutrimentos. La alta efectividad de la MA en el suelo al que no se le agregó fertilizante fosforado no compensó completamente la fertilización acumulativa para el trébol.

En el suelo con suministro de P intermedio inicial, en el tratamiento sin fertilizante el trébol no obtuvo respuesta de la MA debido a la micorrización retardada. En ambos suelos, disminuyeron la colonización de raíces y la densidad de esporas por la fertilización fosforada acumulativa, pero no se observaron cambios en las especies de HMA.

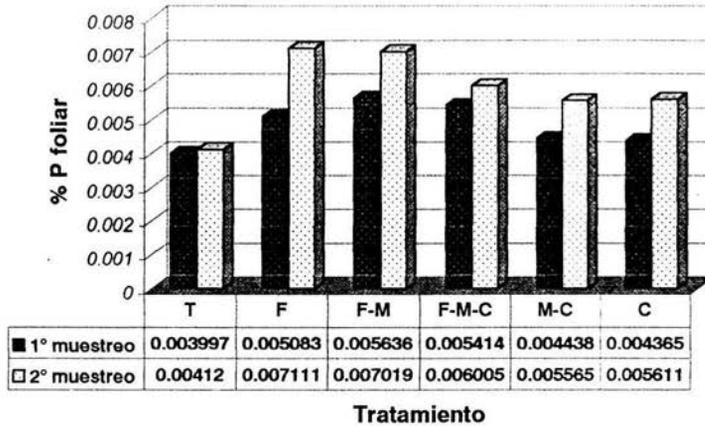
En el caso de este trabajo, la concentración de P en el suelo y la dosis de fertilizante aplicada para el haba no fueron un impedimento para la colonización micorrízica de las raíces de haba, lo cual explica la gran colonización micorrízica en estas plantas.

P foliar en haba. En la gráfica 11 se muestran los valores de P foliar en porcentaje para ambos muestreos en haba. Ni en el primer ni en el segundo muestreo existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Sin embargo, se notan claramente las tendencias de los tratamientos. Los que más acumularon P foliar fueron, en el primer muestreo F-M, y en el segundo muestreo el tratamiento F; por su parte, los tratamientos que menos acumularon P foliar fueron, tanto en el primer como en el segundo muestreo, T.

Se nota que se va acumulando el P conforme transcurre el tiempo; además, la tendencia dice también que los tratamientos fertilizados aumentaron la acumulación de este elemento en el tejido foliar, que los tratamientos orgánicos tienden a ser poco eficientes en proporcionar P a la planta. Sin embargo, si se comparan los tratamientos que contienen composta con el testigo, se observa que aquellos son superiores en cuanto a acumulación de P foliar que este, lo que indica que la composta es lenta en la liberación de este elemento con respecto a los tratamientos que incluyen fertilizante químico.

Gráfica II. Porcentaje de P foliar en haba



% P foliar = Porcentaje de P foliar; T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta.

Según Mills, (1991) el rango de suficiencia de P foliar en haba esta entre 0.32% y 0.42%, por lo que los niveles de este elemento fueron entonces insuficientes.

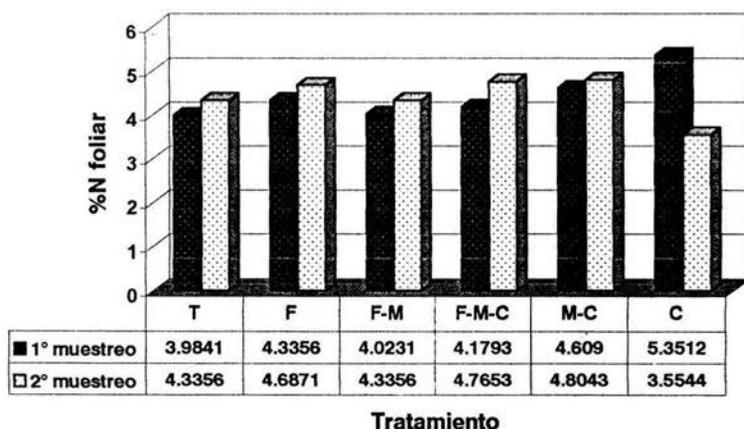
Aquí es interesante el hecho de que habiendo altos niveles de P en el suelo, las plantas presenten deficiencia en todos los tratamientos, lo cual indica por tanto que el P extractable por el método de Bray y Kurtz no está disponible para las plantas, y aquí es también válida la afirmación de que se requiere de aplicar, además de una mayor dosis de cal, una fertilización orgánica rica en P, ya que, según Cajuste, (1977), Los suelos que contienen alofano, la fijación de P puede ser muy grande debido a la gran superficie que ofrecen estos materiales amorfos. Por otra parte, el mismo autor menciona que las fuentes orgánicas de P, tales como el estiércol, son las más eficientes en suelos con alta fijación, especialmente si el estiércol está en trozos grandes, ya que el P que está en el interior de los pedazos no esta en contacto con el suelo y permanece más aprovechable. Los agentes quelantes orgánicos liberados durante la descomposición del estiércol, pueden ayudar a mantener el P de manera aprovechable, formando complejos con el Fe y el Al. Por otra parte, la inoculación de bacterias solubilizadoras de P junto con los HMA puede favorecer la disponibilidad del P, ya que las actividades tanto de estas bacterias como de los HMA son sinérgicas.

N foliar en haba. En la gráfica 12 se muestran los promedios del porcentaje de N foliar en las plantas de haba tanto del primer como del segundo muestreo.

En el primer muestreo no se existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, la tendencia muestra que los tratamientos orgánicos hicieron que las plantas acumularan más N foliar que los tratamientos F y F-M. En el segundo muestreo el tratamiento C fue el que menos N acumuló, y es el tratamiento que tuvo diferencias significativas con los otros tratamientos. Dejando de lado este aspecto, puede verse que también los otros dos tratamientos orgánicos tendieron a acumular más N foliar en las plantas. No hubieron diferencias estadísticas entre los tratamientos que no fueron comparados con el tratamiento C (cuadros 28 y 29, apéndice II).

Mills, (1991) establece que el rango de suficiencia de N foliar para haba es entre 4.80% y 5.50%, de manera que para el primer muestreo la mayoría de los tratamientos mostraron deficiencias en N foliar, solamente el tratamiento C mostró un nivel suficiente de este elemento. Para el 2° muestreo solamente el tratamiento M-C mostró suficiencia, los demás mostraron deficiencia en este elemento.

Gráfica 12. Porcentaje de N foliar en haba



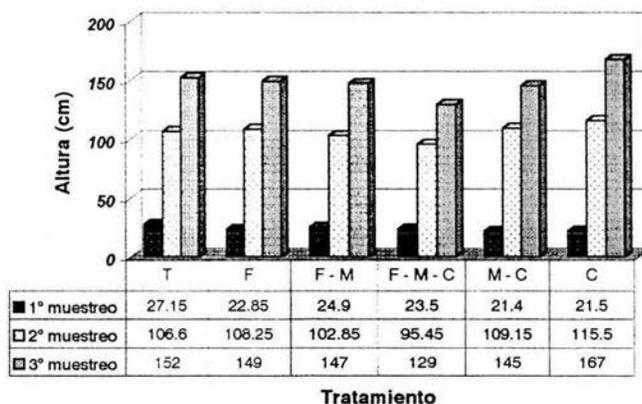
%N foliar = Porcentaje de N foliar; T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta

Puede verse que, según los análisis de suelo de la parcela es rico en N, pero según el párrafo anterior no fue suficiente el N que se desprendió como amoníaco, debido posiblemente a la volatilización de este compuesto hacia la atmósfera, esto es, que el aporte de N orgánico tanto de la materia orgánica como el aportado por el fertilizante nitrogenado se perdió en la atmósfera más rápido que lo que pudo aprovechar la planta. También, según los datos del análisis del suelo, la relación C:N está entre 15 y 16 (menor que 20), lo que significa, según Tisdale, (1991), que la planta no aprovecha de manera eficiente el N mineralizado de los tratamientos orgánicos en el tiempo que dura el efecto del encalado, sino que requiere una dosificación constante de este nutrimento.

Puede decirse que en general, como en el caso del P, la concentración de N foliar viene de menos a más

Longitud de las plantas de haba. En la gráfica 13 se muestran los valores promedio por tratamiento de las alturas de las plantas de haba en centímetros. Las barras negras indican el primer muestreo, las barras blancas, el segundo y las grises el tercero. En las tablas 30 – 35 del Apéndice II.

Gráfica 13. Crecimiento del haba



T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta

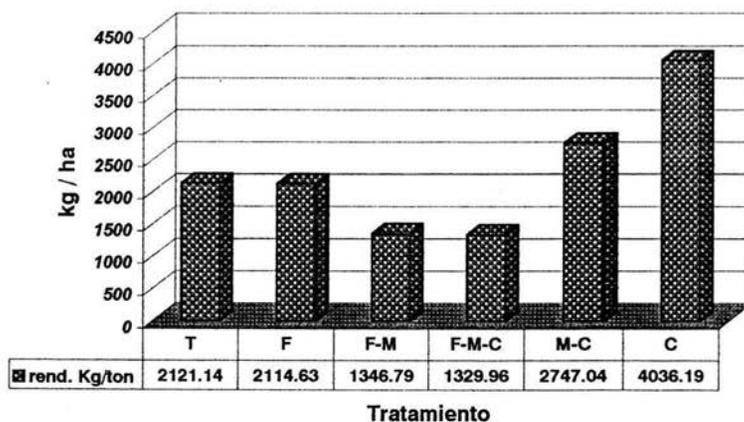
En el primer muestreo de haba según las tablas 30 y 31 del Apéndice II, sólo hubieron diferencias estadísticas entre los tratamientos T y M-C y T y C.. El tratamiento que presentó una mayor altura en este estadio fue T, el de menor fue M-C. puede notarse que no hubo una gran variación de tamaños (gráfica 12).

Para el segundo muestreo se notó un gran crecimiento, teniendo sólo una diferencia estadística entre los tratamientos F-M-C y C, que son los tratamientos que exhibieron menor y mayor crecimiento respectivamente en comparación con los demás (cuadros 32 y 33, apéndice II, gráfica 12).

En el tercer muestreo, hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T y F-M-C, F y F-M-C, F-M y C, F-M-C y C y M-C y C (cuadros 34 y 35, apéndice II). El tratamiento que menor altura le dio a las plantas fue F-M-C, y el de mayor altura promedio fue el tratamiento C, y son estos dos últimos tratamientos los que tienen diferencias significativas con los otros tratamientos. El mayor crecimiento en el tratamiento C se debe posiblemente a que pudo haber habido fijación de N mediante simbiosis de las plantas con *Azospirillum sp.* ya que 3 de las 4 unidades experimentales están hacia las orillas de la parcela, muy cerca de sitios poco perturbados por la prácticas agrícolas convencionales, donde posiblemente se encuentren cepas de estas bacterias.

Producción de haba en fresco (semilla + vaina). En la gráfica 14 se exhiben los resultados de los promedios de rendimiento de haba por tratamiento, en kilogramos de semilla en fresco, con la vaina. Así mismo, en las tablas 49 y 50 del Apéndice V pueden verse los resultados del análisis de rango múltiple.

Gráfica 14. Rendimiento en grano de haba



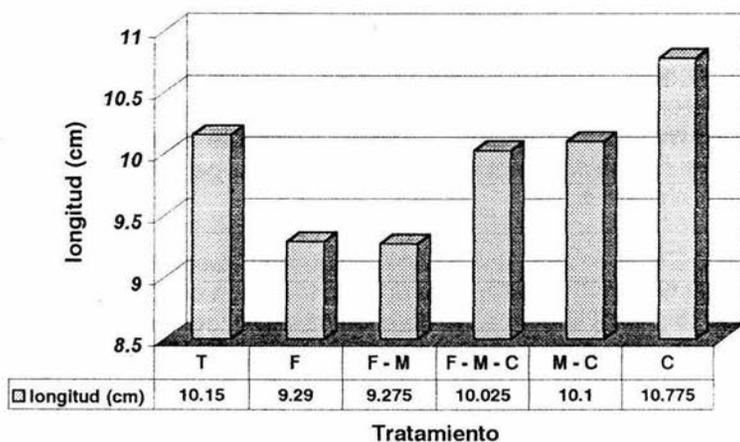
Kg / ha = kilogramos por hectárea; T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta; rend. = rendimiento.

Según las tablas mencionadas, no existe diferencia estadística entre los tratamientos, pero en la gráfica las tendencias sí son muy pronunciadas. El tratamiento de menor promedio de rendimiento fue el de F-M-C, mientras que el de mayor rendimiento promedio fue el de C.

Los resultados tanto de longitud de las plantas como de rendimiento de grano indican que la composta aporta en efecto positivo, especialmente en el rendimiento en grano, en que dos de los tratamientos que fueron combinados con composta fueron los de mayor producción. Así mismo, para la producción de follaje tanto como para la producción de grano, no es recomendable utilizar la combinación F-M-C.

Longitud de las vainas. En la gráfica 15 se exponen los valores promedio de las longitudes de las vainas de haba.

Gráfica 15. Longitud de vainas de haba



T = Testigo; F = Fertilizante; F - M = Fertilizante - micorriza; F - M - C = Fertilizante - micorriza - composta; M - C = Micorriza - Composta; C = Composta.

Según la prueba anterior, no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Es necesario precisar que las barras de la gráfica 15 no parten de cero, de manera que visualmente dan un aspecto engañoso, las diferencias entre las barras no es tan grande. Sin embargo, también se nota que el tratamiento que propició una mayor longitud de vainas en las plantas de haba fue C, y los dos menores, muy similares fueron F y F-M, también aquí los tratamientos orgánicos permiten una mayor longitud de las vainas (M-C y C),

Por lo visto en párrafos anteriores, la aplicación de composta en cultivos de haba significaría un buen aporte de N foliar en los primeros estadios, un mayor crecimiento de la parte aérea, un mejor rendimiento y hasta una mayor longitud de las vainas, sin embargo, si se observa la gráfica 10, fue el tratamiento C el que menos colonización micorrízica arbuscular presentó.

Lo anterior puede explicarse aseverando que la composta se mineraliza de manera constante para el haba, esto es, a una velocidad adecuada a la velocidad de captación por parte de la planta, que los nutrimentos como N y P quedan en libertad y son captados por las plantas, de manera que no necesitó la planta el 100% de colonización arbuscular.

Aunque todos los tratamientos mostraron deficiencia en P foliar, la tendencia de los tratamientos fertilizados fue a incrementar la concentración de este elemento en el follaje.

Si se observan las gráficas 10 y 11, los tratamientos T, F, y F-M tienen prácticamente la mayor colonización arbuscular, pero sólo F y F-M pudieron acumular una máxima cantidad de este elemento en sus tejidos, lo cual indica que los hongos micorrízicos sí aprovecharon el P disponible en el suelo, tanto del que ya tenía el suelo como del aplicado con la fertilización química. Aquí es importante hacer notar que en los tratamientos F y F-M el fertilizante químico, si bien no fue suficiente para la nutrición de las plantas, tampoco inhibió la colonización, de manera tal que la cantidad de fertilizante fosforado aplicado al cultivo puede ser óptima en cuanto al desarrollo de MA, pero insuficiente desde el punto de vista nutrimental.

Hayman, (1982) explica que la hifa micorrízica absorbe el fosfato de la zona en que este elemento no está agotado, y lo transloca directamente a la raíz. Con esta acción la planta libra la zona de agotamiento y logra acceder al fosfato que está lejos de esta zona, pero cuando se agrega una gran cantidad de fertilizante fosforado al suelo, las zonas de agotamiento no existen y la planta no requiere de la asociación micorrízica. Para el caso en que el suelo es fijador de fosfato, una planta puede responder a la inoculación micorrízica siempre después de que grandes cantidades apreciables de fertilizantes han sido agregados. Las aseveraciones anteriores explican por qué en haba las plantas respondieron favorablemente a la micorrización en tratamientos fertilizados: El efecto inhibitorio del fosfato extractable se pierde al fijarse este al alofano.

Montaño, *et al.*, (2001) explican diferencias entre el maíz (planta C₄) y el trigo (planta C₃): En el maíz hay una mayor acumulación de biomasa seca que en el trigo, así como una más eficiente traslocación de nutrimentos en la floración, mientras que en el trigo la traslocación no es favorecida y la planta, aún en floración, requiere de absorción de nutrimentos. En esta investigación no se pesó la biomasa seca de las plantas en sus diferentes estadios, pero un indicador de ello es la altura de la parte aérea de las mismas, si se comparan las alturas del maíz (planta C₄, gráfica 8) con las alturas de las plantas de haba (planta C₃, gráfica 13) puede verse que el maíz sí acumuló más biomasa que el haba, así mismo, si se comparan las gráficas de N y P foliares para ambas especies, se ve que el maíz en la etapa de floración hubieron menos nutrimentos que en estadio de plántula, mientras que en el haba se encontraron más de estos nutrimentos en la floración que en plántula.

En un campo de trigo en Inglaterra, cuyo suelo es arenoso, se observó un efecto marcadamente negativo del nitrato de amonio sobre la población de esporas micorrízicas; la misma fertilización en el mismo suelo se realizó pero con una plantación de haba, y el fertilizante no hizo disminuir la población de esporas micorrízicas en el suelo, mientras que en un suelo de Polonia, se hicieron estudios detallados de cereales y legumbres en varios años en suelos agrícolas, consistente de fertilización N P K, y se observó un efecto negativo sobre la intensidad de la colonización micorrízica en raíces de 4 cereales, pero no en raíces de frijol, de manera que las leguminosas responden generalmente de manera positiva a la micorrización arbuscular aún con fertilización química (Hayman, 1982). Lo anterior concuerda con la alta micorrización del haba en los tratamientos F y F-M de esta investigación. La colonización micorrízica en el maíz, siendo un cereal, respondió de manera negativa en los tratamientos fertilizados, lo cual también concuerda con lo reportado en la bibliografía.

Síntesis de mejoras

En términos de rendimiento, aumentar o disminuir la dosis de fertilizantes químicos no resuelve el problema de la disponibilidad de nutrimentos para la planta, más bien, como se ha demostrado, se requiere de establecer las condiciones de pH para liberar el fósforo fijado, así como adicionar materiales orgánicos que: 1) liberen paulatinamente los nutrimentos a la planta, y 2) que compitan con el alopino por la captación de nutrimentos de origen mineral, para de igual manera, intercambiarlos con las raíces.

Por lo visto, el suelo de la parcela trabajada no requiere tanto de algún tratamiento para estimular la actividad de los HMA nativos, entre menos tratamientos se agreguen al suelo, los HMA son más infectivos. También por lo que se ha demostrado, la alta micorrización no implica una mayor producción de grano, sino una medida de sobrevivencia, tanto de la planta como del hongo, en situaciones en que hay baja concentración de nutrimentos o no están disponibles.

En este trabajo se está demostrando que los HMA nativos fueron más eficaces que los inoculados, de manera que no es necesario inocular de otros sitios. Si se quisiera demostrar que un inóculo es más eficaz que los nativos, se requiere de que se inocule en el momento en que han comenzado las lluvias, para que la sequedad del suelo no mate los propágulos.

Con respecto al suelo:

1. El suelo es un andisol, migajón arcillo arenoso, rico en materia orgánica, moderadamente ácido, con altos valores de P extractable y rico en N, con una baja relación C/N, evidenciando un suelo en el que se mineraliza la materia orgánica liberando amonio. No presenta problemas de salinidad.
2. Tanto en la parcela como en el suelo del que se obtuvo el inóculo, se encontraron los géneros *Acaulospora sp*, *Glomus sp*. y *Gigaspora sp*.
3. En la parcela se encontraron 1885 esporas en 100 g de suelo, y en el suelo en que se obtuvo el inóculo 3339 esporas por 100 g de suelo. Los HMA nativos fueron más eficientes que los inoculados.

Con respecto al maíz:

4. El maíz en etapa de plántula respondió mejor a la colonización micorrízica en los tratamientos no fertilizados químicamente, siendo mejor el testigo (T), mientras que el que presentó la menor colonización fue el tratamiento F-M-C. Hubo diferencias estadísticas entre tratamientos fertilizados y no fertilizados, lo anterior especialmente en colonización arbuscular
5. En ambos muestreos, todos los tratamientos mostraron deficiencias en P foliar.
6. En cuanto a N foliar, en el primer muestreo los tratamientos F, C, F-M-C y C presentaron suficiencia de N foliar, lo mismo que para todos los tratamientos del segundo muestreo.
7. El mejor tratamiento para el crecimiento aéreo fue C, y el que propició menor crecimiento en el tercer muestreo fue F-M-C.
8. El tratamiento que propició mayor producción de grano seco fue F-M-C y el de menor fue T y el nivel de producción es bajo relativamente.

Con respecto al haba:

9. Todos los tratamientos propiciaron una alta micorrización, especialmente arbuscular en la etapa de floración. La dosis de fertilizante no resultó inhibitoria. No hubieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.
10. En ambos muestreos hubo insuficiencia de P foliar.
11. En cuanto a N foliar el primer muestreo sólo el tratamiento C obtuvo la suficiencia y en el 2° solamente M-C.
12. El tratamiento C propició mayor crecimiento de la parte aérea y el de menor fue F-M-C.
13. El tratamiento C propició una mayor longitud de las vainas de haba
14. El mejor tratamiento para producción de semilla de haba mas vaina fue C, mientras que el que determinó menor producción fue F-M-C.

La hipótesis se cumplió en el caso del maíz, en el rendimiento del grano en seco. En el rendimiento se notó una mayor influencia de la composta que de los tratamientos que presentaron mayor micorrización.

En el caso del haba no se cumplió la hipótesis planteada. El mayor rendimiento se observó para el tratamiento de composta. La mayor influencia positiva para el rendimiento se notó en el tratamiento de composta (C) que en los de mayor colonización micorrízica

Recomendaciones.

Se requiere dar continuidad al experimento en la localidad en general, y en la parcela en particular. En tal caso se requiere de sembrar las semillas inoculadas después de la primer lluvia.

Es necesario aumentar la dosis de cal, y sobre todo continuar aplicando tratamientos orgánicos como el empleo de composta.

Se requiere además que la composta no sea deficiente en P para abatir el efecto del alofano.

Se sugiere experimentar con bacterias solubilizadoras de fosfato, ya sea como inóculo simple o en doble inoculación con HMA.

Referencias

- Alarcón, A. (2001). "Comentario. Actualización de la taxonomía de los glomales". En: *Terra*. Vol. 19 Número 1, 2001. p. 103 – 104.
- Alcántar G. G. y Tirado T. J. L. (1991). "Las dos vías de asimilación del nitrógeno en soya y otras leguminosas". En: *Terra* Vol. 9 No. 1 1991. P. 59 – 68.
- Álvarez S., J. D. y Ferrera-Cerrato, R. (1994). *Los microorganismos del suelo en la estructura y función de los agroecosistemas*. Cuaderno de edafología 25. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias, México.
- Arrollo A. V. y Martínez G. M. (1997). *Efecto de la doble inoculación endomicorriza V – A y Azospirillum en cultivos de maíz (Zea mays) en dos sitios del Estado de México*. Tesis de licenciatura. Carrera de biólogo. UNAM FES Zaragoza. Pp. 1, 2, 60 – 79.
- Azcón, G. C. y Barea, J. M. (1988). "Micorrizas". *Biología vegetal*. Libros de investigación y ciencia. Scientific American, Prensa científica, España. P. 83 – 91.
- Bago B., Azcón – Aguilar, C., Shachar – Hill, Y. y Pfeffer, P. E. "El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno". En: Alarcón, A. y Ferrera – Cerrato, R. (2000). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundi – prensa, México. Pp. 78 – 92.
- Bansal, B. P. M. Chamola N. y Mukerji, K. G. (2000). "Mycorrhizosphere: Interaction between rhizosphere microflora and VAM fungi". En: Mukerji, K. G. y Chamola, B. P. (2000). *Mycorrhizal biology*. Kluwer academic / Plenum Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 143 – 151.
- Barbosa C. F. (1989). *Los principales suelos agrícolas de México y su productividad*. Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Zaragoza", UNAM, México. Pp. 38 – 41.
- Bartolini, R. (1990). *El maíz*. Mundi prensa, España. P. 9
- Bethlenfalvay, G. J. (1993). "The mycorrhizal plant – soil system in sustainable agriculture". En: Ferrera Cerrato, R. y Quintero Lizaola, R. (1993). *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Colegio de Postgraduados, México. P 127 – 137.

Boddington, C. L. y Dodd, J. C. (2000). "The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol". En: *Plant and soil* 218: 137 – 144, 2000.

Borja, A. D. (1990). http://www.monografias.com/trabajos/el_maiz.shtml#arriba

Cajuste, L. J. (1977). *Química de suelos con un enfoque agrícola*. México, Colegio de Posgraduados. P 185 – 252.

Carta edafológica 1:1 000 000 Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Programación y Presupuesto.

Cavazos, T. y Rodríguez, O. (1992) *Manual de prácticas de física de suelos*. Trillas, México. P 22 – 25.

CIMMYT, (1983). *Adiestramiento en maíz. Experimentos fuera de la cosecha*.

Chepkwony, C. K., Haynes, R. J., Swift, R. S. y Harrison, R. (2001). "Meralization of soil organic P induced by drying and rewetting as a source of plant – available Plant P in limed and unlimed samples of an acid soil". En: *Plant and soil* 234: 83 – 90, 2001.

Cruz F, G., y Hernández C. G. (1995) "Necesidades de cal en suelos de la subprovincia fisiográfica "Mil cumbres" correspondiente al Estado de México". En: *Memorias XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Obregón, Sonora.

Dalzell, H. W. Biddlestone, A. J., Gray K. R. y Thurairajan, K. (1991). *Manejo de suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Boletín de suelos de la FAO # 56. FAO, Italia. P. 1 – 75.

Domínguez V. A. (1989). *Tratado de fertilización*. 2ª. Edición. Ediciones Mundi Prensa, México. P. 306 – 331.

Douds, D. D., Gadkar, V. y Adholeya, A. (2000). "Mass production of vsm fungus biofertilizer". En: Mukerji, K. G. y Chamola, B. P. (2000). *Mycorrhizal biology*. Kluwer academic / Plenum Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 197 – 215.

Fassbender, H. W. y Biornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura, Costa Rica.

Ferrera – Cerrato, R. (1994). *Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Lewis Publishers, Estados Unidos de América. P. 91 – 105.

Ferrera – Cerrato, R. y García G. E. (1997). *Fitorremediación*. Colegio de Postgraduados, México. Pp. 2 – 3.

Ferrera - Cerrato, R., González C. M. C. A., y Rodríguez M. M. N. (1993). *Manual de agromicrobiología*. Trillas, México. P. 53 – 91.

Fink, A. (1985). *Fertilizantes y fertilización*. Reverté, España. Pp. 65 – 69.

Fitzpatrick, E. A.. (1984). *Suelos: su formación, clasificación y distribución*. CECSA, México. pp. 335-339.

Franco R. A. (2002). *Estudio Taxonómico de HMA en dos localidades productoras de Annona muricata L. (Guanábana) de México*. Tesis de Licenciatura, Carrera de Biólogo. FES Zaragoza, UNAM, Colegio DE Posgraduados en Ciencias Agrícolas, área de microbiología, IRENAT, México. Pp. 16 – 26.

Gálvez, L. Douds, D. D. Drinkwater, L. E. y Wagoner, P. (2001). "Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize". En: *Plant and soil*. 228: 299 – 308, 2001.

Gupta, R. y Mukerji K. G. (2000). "The growth of VAM fungi under stress conditions". En: Mukerji, K. G. y Chamola, B. P. (2000). *Mycorrhizal biology*. Kluwer academic / Plenum Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 57 – 65.

Guzmán P. R. A.. y Ferrera - Cerrato, R. (1990). *La endomicorriza vesículo – arbuscular en las leguminosas*. Sección de microbiología, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. México. P. 70 – 77.

Harley, J. L. y Smith, S. E. (1983). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, Gran Bretaña. Pp. 1 – 11.

Harrison, S, G., Masefield, G. B. y Wallis, M. (1980). *Guía de las plantas comestibles*. Omega, España. P. 6 – 7, y 40 – 41.

Hayman, D. S. (1982). "Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi". En: *Phytopathology*. Vol. 72, No. 8, 1982. p. 1119 – 1124.

Huang, P. M. (1993) "Impact of interactions among soil minerals, organics and microbes on agroecosystems". En: Ferrera Cerrato, R. y Quintero Lizaola, R. (editores). (1993).. *Agroecología sustentable y educación*. Centro de edafología. C. P., México. P. 79-93.

INEGI, (1998). *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. México. 318 – 321. Agrícolas. México. P. 1 – 4, 24 – 34.

INEGI, (1999). *Anuario estadístico de Estado de México*. Gobierno del Estado de México. México. P. 8-458.

INEGI 1999. Carta topográfica 1:50000 San Miguel Zinacantepec.

INEGI, (1998). *Cuaderno estadístico municipal*. Villa Victoria, Estado de México. Gobierno del Estado de México. H. Ayuntamiento Constitucional de Villa Victoria. México. P. 1-16, 95-99.

Jackson, M. L. (1982). *Análisis químico de suelos*. Omega, España. Pp. 78, 294 – 300, 329 – 333.

Jones, J. B. Wolf, B. y Mills, H. A. (1991). *Plant analysis handbook*. Micro Macro Publishing, Estados Unidos de América. Pp. 6 – 9.

Kahilouto, H. Ketoja E. Vestberg M. y Saarela I. (2001). "Promotion of AM utilization through reduced P fertilization 2. Field studies". En: *Plant and soil* 231: 65 – 79, 2001.

Karasawa, T. Arihara, J. y Kasahara, Y. (2000). "Effects of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of maize under various soil moisture conditions". En: *Soil Sci Plant Nutr.* 46 (1), 53 – 60, 2000.

Kochhor, S. L. (1981). *Economic botany in the tropics*. Macmillan India Limited, India. p. 88 – 97.

Langer, R. H. M. y Hill, G. D. (1991). *Agricultural plants*. 2ª. Ed. Cambridge University Press, Gran Bretaña. P. 40 – 51 y 217 – 275.

Linderman, R. G. (1993). "Effects of microbial interactions in the mycorrhizosphere on plant growth and health". En: Ferrera Cerrato, R. t Quintero Lizaola, R. (1993). *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Colegio de Postgraduados, México. P. 138 – 152.

Linderman, R. G. (1992). "Vesicular – arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions". En: Bethlenfalvay, G. J. Y Linderman, R. G. (1992). *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. A Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Estados Unidos de América. P. 45 – 70.

Logan, T. J. (1992). "Reclamation of chemically degraded soils". En: *Advances in soil science*. Vol. 17 p. 13-35.

López R. G. (1998). *Diversidad vegetal*. Universidad Autónoma Chapingo, México. P. 131 – 203.

Manjarrez, M. J., Alarcón A. y Ferrera – Cerrato, R. (2000). "Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad". En: Alarcón, A. y R. Ferrera – Cerrato. (2000). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Colegio de Posgraduados, Mundi Prensa, México. P. 239 – 247.

- Marschner, H. (1986). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Irlanda del Norte. P. 465-476.
- Martínez G. M. Arroyo A. V. y Sánchez C. M. J. (1996). "Doble inoculación: endomicorriza V-A y *Azospirillum* en maíz de dos sitios del Estado de México". En: *Memorias XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Obregón, Sonora, México. P. 113.
- Medrano C. H. I. (2002). *Obtención de un inóculo endomicorrízico nativo para un agostadero semiárido degradado en Santiago de Anaya, Hidalgo*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza". Universidad Nacional Autónoma de México. P. 21 – 60.
- Mills, H. A. y Jones, J. B. (1991). *Plant Analysis Handbook II* Micro Macro Publishing, Estados Unidos de América. p. 191.
- Montaña A., N. M.; Quiroz G. V. y Cruz F. G. (2000). "Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un andisol". En: *Terra*. 19: 337 – 344.
- Moreno M. E. (1996). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. UNAM, FAO. México, p. 119 – 122, 202.
- Ortiz Solorio, C. A. (1985). "Los suelos agrícolas de México". En: *Memorias de la primera reunión nacional sobre manejo de suelos arcillosos y su implicación en la agricultura*. 2 – 5 de octubre de 1985 en Celaya, Guanajuato. SARH, UACH, CP. México.
- Ortiz-Villanueva B. y Ortiz-Solorio, C. A. (1990). *Edafología*. Universidad Autónoma Chapingo. P. 70 – 87.
- Palmer, R. G. (1977). *Introducción a la ciencia del suelo*. 2ª. Edición. AGT Editor, México. Pp. 44 – 47.
- Parsons, D. B. (1990). *Maíz Trillas*. SEP, México. P. 11 – 16.
- Paul, E. A. y Clark, F. E. (1989). *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Estados Unidos de América. P. 178 – 183.
- Pérez M. y Ferrera – Cerrato, R. (1994). "mycorrhizal Interactions with plants and soil organisms in sustainable agroecosystems". En: Brussaard, L. y
- Pulido, J. (1989). *Introducción a la edafología*. Manual de campo y laboratorio. Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, México. P. 18 – 33.

Reeves, M. (1992). "The role of VAM fungi in nitrogen dynamics in maize – bean intercrops". En: *Plant and soil*. 144(1):85 – 92.

Ren, Chung – Shih, Chong – Ho Wang, Chiun – Wen Wang, y Yin – Po Wang. (2000). "Influence of organic matter and inorganic fertilizer on the growth and nitrogen accumulation of corn plants". En: *Journal of plant nutrition*, 23(3), 297 – 311 (2000).

Reyes J. I. (1996). *Fundamentos teórico – prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo*. Parte 1. UAM Iztapalapa, México. P. 127, 138, 148, 184.

Reyes C. P. (1978). *Diseño de experimentos agrícolas*. Trillas, México. P. 83 - 113

Rodríguez, S. F. (1982). *Fertilizantes*. Nutrición vegetal. AGT Editor, México. Pp. 47 – 75.

Ruiz B. A. y Ortega T. E. (1979). *Prácticas de laboratorio de química de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo, México. P. 54 – 70.

Sánchez C. (2000). *Respuesta del maíz a la inoculación con Azospirillum y colonización con micorrizas arbusculares in situ, en un andosol encalado del Estado de México*. Tesis de maestría. UNAM, Fac. de Ciencias, México.

Sánchez C., M. J., Martínez G. M., y Arroyo A. V. (1997). "Estudio de los Hongos Micorrízicos en cultivos de maíz en dos sitios del Estado de México". En: *Boletín de investigación y sus nexos*. Vol. IV, No. 1, 1997. UNAM, FES Zaragoza, México. P. 10 – 15.

Sánchez C. M. J., Ramírez B. P. J. y Torrescano V. N. (2000). "Micorriza arbuscular y *Rhizobium* presentes en leguminosas establecidas en suelo andosol". En: Alarcón A. Y Ferrera – Cerrato, R. (2000). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Colegio de Posgraduados, Mundi Prensa, México. P. 46 – 55.

Saxena, A. K., Annapurna, K., y Tilak, K. V. B. R. "Molecular approaches to mycorrhizal ecology". En: Mukerji, K. G., Chamola B. P. y Singh, J. *Mycorrhizal biology*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 45 – 52.

Singh, R. Adholeya, A. y Mukerji, K. G. (2000). "Mycorrhiza in control of soil borne pathogens". En: Mukerji, K. G., Chamola B. P. y Singh, J. *Mycorrhizal biology*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 173 – 195.

Tarkalson, D. D., Jolley, V. D., Robbins, C. W. y Terry, R. E. (1998). "Mycorrhizal colonization and nutrient uptake of dry bean in manure and compost manure treated subsoil and untreated topsoil and subsoil". En: *Journal of Plant Nutrition*. 21 (9), p. 1867 – 1878.

Thompson, J. P. (1994). "what is the potential for management of mycorrhizas in agriculture? En: *Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry*, Kluwer Academic Publishers, 191-200.

Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. (1991). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. UTEHA, México. P. 146 – 151.

Tornero C. M. A., Contreras R. J., y Peña O. B. V. (1993). *Tecnología agrícola para la producción de haba. Región de Llanos de Cerdán, Puebla*. 17 p.

Vargas J. A. R. y Villagrán P. E. G. (2000). *Análisis comparativo de la colonización micorrízica – arbuscular de dos inóculos*. FES Zaragoza, UNAM.

Velasco M. H. A. (1983) *Uso y manejo del suelo*. Limusa, México. P. 187.

Werner, (1992). *Symbiosis of plants and microbes*. Chapman and Hall, Inglaterra. Pp. 299 – 323.

<http://invam.caf.wvu.edu> (2001).

<http://maize.agron.iastate.edu/corngrows.html> (2002).

<http://www.hort.pardue.edu/newcrop/crofactsheets/fababean.html> (2002).

<http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/fietab.html> (2000).

http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/legumino/haba.htm (2002).

Características de las esporas de los hongos micorrízicos arbusculares.

Reino: Fungi

División: Glomeromycota

Clase: Glomeromycetes

Orden: Glomerales

Familia: Glomeraceae.

Las especies de esta familia producen esporas asexuales, las cuales:

1. Son producidas de manera única, simple, en agregados, en una matriz hifal no organizada o en una matriz hifal altamente organizada.
2. Las capas de la pared de la espora generalmente son continuas con una pared de la hifa sustentora.
3. Se desarrollan sobre una hifa cilíndrica y ensanchada, o que puede ser también constreñida, no especializada y fértil.
4. La mayoría de las especies contienen una capa externa mucilaginosa evanescente, que se tiñe de rosa o rojo con el reactivo de Mezler.
5. Pueden sintetizar una subcapa separable delgada (y por tanto flexible) de capa laminada de la pared de la espora, a la que se ha denominado como "pared membranosa". Sin embargo, se origina como parte de la hifa suspensora y permanece unida en algunas esporas quebradas, de manera que no es una pared separada.
6. Generalmente germinan por emergencia del tubo germinal, directamente del lumen de la hifa sustentora.

Género *Glomus*. Este género presenta todas las características de la familia Glomeraceae. Se han observado con diferentes tipos de unión de la hifa sustentora: recta, en curva o en forma de embudo; pueden encontrarse simples o agrupadas en esporocarpos. Su tamaño varía desde 50 a 300 μm

Ontogenia de la espora. La espora procede de una expansión que ocurre en el extremo de una hifa. Otras capas de la pared de la espora frecuentemente se desprenden con la edad de la misma. La espora se diferencia de la hifa sustentora en el mismo ritmo y sintetizan las mismas capas componentes como las que se establecen en la pared de la espora (véase la figura 2).

Órdenes: Paraglomerales y Archaeosporales.

Estudios de caracteres moleculares, tales como las especificidades de anticuerpos monoclonales y perfiles de ácidos grasos han guiado a la sospecha largamente sostenida de que los miembros de estas familias fueron filogenéticamente distantes de las especies de *Acaulospora* y *Glomus* pero todos estos datos no dieron suficiente información filogenética para determinar su posición relativa con respecto a los otros *taxa* glomaleanos, siempre los caracteres morfológicos fueron atípicos con las esporas del tipo *Acaulospora*. La pequeña subunidad (18s) de secuencias de ADN ribosomal finalmente dieron el carácter clave para posicionar esta familia como ancestral tanto para *Acaulosporaceae* como para *Glomaceae*. El árbol filogenético molecular sugiere que los miembros de estas familias están más cerradamente correlacionadas con un hongo no micorrízico, *Geosiphon pyriforme*, un zigomicete putativo, que es el micobionte en una simbiosis con la cianobacteria *Nostoc*.

Familia: Paraglomeraceae.

Las estructuras vegetativas consisten en aquellas incluidas en el orden Glomerales. Existen varias características únicas para esta familia en estructuras micorrízicas.

Los caracteres moleculares que se utilizan para los miembros de esta familia son:

1. Las líneas celulares de anticuerpos monoclonales B5 y F8, mantenidas en el laboratorio de Sara Wright.
2. La secuencia de ADN en el extremo 3' del gen ribosómico 5.8s separa los miembros de esta familia, de las de las glomáceas.
3. La secuencia cebadora (ARCH1311) también va a amplificar selectivamente las especies de esta familia.

Las especies de esta familia producen esporas asexuales las cuales:

1. Son producidas de manera individual por lo general, la estructura subcelular es idéntica a las de las especies de *Glomus*, cuyas capas de la pared de la espora son continuas con las de la hifa.
2. Se desarrollan en posición terminal sobre una hifa subtendida ligeramente ensanchada a cilíndrica
3. La espora está ocluida en especies descritas a la fecha por engrosamiento de la capa más interna de la pared de la espora.
4. Se asume que la germinación es similar que en *Glomus*: la emergencia del tubo germinal a través del lumen de la hifa sustentora o más raramente a través de la pared de la espora.

Género *Paraglomus*. Presenta las características de la Familia Paraglomeraceae.

Ontogenia de las esporas. Desarrolla esporas exactamente igual a *Glomus* por expansión explosiva de un extremo de la hifa. La capa externa de la pared de la espora frecuentemente muda con la edad de la espora, tanto en suelo como en maceta. En cuanto al desarrollo, esta capa es el primer componente de la pared de la espora para la formación de esporas juveniles. Generalmente, el material orgánico va a acumularse sobre la superficie, no reacciona con el reactivo de Mezler.

La hifa sustentora y la espora diferencian al mismo ritmo y sintetizan las mismas capas componentes como las que se establecen en la pared de la espora. En varias especies la hifa sustentora de esporas maduras es tan delgada que es muy difícil ver o separar de la espora.

Orden: Archaeosporales.

Familia: Archaeosporaceae

Todas las especies de esta familia se distinguen de las demás por la secuencia de nucleótidos de la posición 227 del gen de rADN 18S.

Las especies de esta familia producen esporas las cuales:

1. Se originan del cuello de un sáculo esporífero que está formado en el extremo de una hifa fértil. Los sáculos frecuentemente cesan ante la expansión da la formación de la espora ocurriendo de manera simple o en agregados, lo cual es poco frecuente.
2. Pueden ser sésiles (sin ligadura a la hifa), pero de las tres especies descritas hasta ahora, dos forman esporas sobre un pedicelo o hifa ramificada.
3. La estructura subcelular consiste solamente de capas de una pared de espora (3 – 4) de las cuales la capa más exterior es continua con la pared monocapa del cuello del "sáculo esporífero". Las esporas no forman paredes germinales flexibles y delgadas comunes a todas las especies de Acaulosporaceae.
4. La espora puede quedar ocluida hacia el lumen de una hifa sustentora o el cuello del "sáculo esporífero". por una o más capas y siempre también por un septo
5. La germinación está pobremente documentada en algunos miembros de este grupo, aunque los tubos germinativos han sido observados independientemente emergiendo del lumen del pedicelo de morfología acaulosporoide.

Género *Archaeospora*. Todas las especies forman esporas cargadas lateralmente del cuello de un "sáculo esporífero" prediferenciado, pero el modo de formación es muy similar al de especies de *Acaulospora* o de una hifa ramificada (o "pedicelo") para formar una espora similar a *Glomus*. Algunas especies son dimórficas, formando ambos morfotipos: acaulosporoide y glomoide.

Ontogenia de la espora. Ocurren tres modos de formación de esporas en esta familia:

1. La espora se desarrolla del lado de la hifa sustentora de un sáculo esporífero similar a las especies de *Acaulospora*. Cuando las esporas se desprenden, son sésiles, esto es, que no están unidas a la hifa sustentora (véase la figura 3).
2. Una hifa ("pedicelo") primero ramifica de la hifa subtendida de un "sáculo esporífero" y la espora se desarrolla de manera muy similar a las de las glomáceas de manera terminal por expansión explosiva de este pedicelo (véase la figura 5).
3. Especies con esporas similares a *Glomus* formándose de un "sáculo esporífero" (los dos puntos antes mencionados), también forman esporas similares a *Glomus* directamente de una hifa externa, algunas de las cuales también pueden formar sáculos (véase la figura 2).

Orden: Diversisporales

Familia: Gigasporaceae

Son miembros de esta familia los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora*. En suma, forman grandes esporas de más de 200 micras, con las siguientes propiedades morfológicas:

1. La pared de la espora consiste en una capa externa permanente, encerrando una capa laminada, cada una con diferentes propiedades que distinguen a las especies como color, grosor, reacción con el reactivo de Mezler, etc.
2. Los contenidos de la espora son divididos del de la célula bulbosa esporógena por un tapón, o más raramente por un septo.

Género *Gigaspora*: Produce esporas sin ornamentaciones. La organización subcelular de las esporas consiste solamente de una pared de dos capas; los tubos germinales surgen de una capa papilada delgada (verrugosa) apareciendo de la superficie interior la capa laminada. Las células auxiliares de pared delgada con superficies equinuladas, son producidas sobre la hifa en el suelo cercano a la superficie de las raíces.

Ontogenia de la espora. Las esporas se desarrollan explosivamente en un extremo de la hifa, la cual se abulta y se convierte en una "célula esporógena".

Después esta célula alcanza su tamaño de llenado (por lo general alrededor de 25 – 50 micras en la mayoría de las especies). La espora comienza a desarrollar en el extremo. La capa externa y la capa laminada se desarrollan simultáneamente, y frecuentemente no se pueden distinguir las esporas juveniles sin el reactivo de Mezler. La lámina entonces se hace espesa y por último desarrolla la capa interna verrugosa, a la cual surgen tubos germinales múltiples (véase figura 1).

Género *Scutellospora*: Esporas con o sin ornamentaciones. La organización subcelular de las esporas consiste en una pared de dos capas y de una a tres paredes internas flexibles. Grupos de especies comparten la misma estructura de pared interior (una, dos o tres paredes flexibles internas con capas que difieren en grosor, grado de plasticidad y reacción con el reactivo de Mezler). Los tubos germinales aparecen en un escudo de germinación, similar a un plato y persistente, que esta siempre asociado con la pared flexible más interna. Las células auxiliares de pared delgada con superficies lisas a nudosas, son producidas sobre la hifa en el suelo más próximo a la superficie de la raíz.

Ontogenia de las esporas. Las esporas se desarrollan de manera explosiva en el extremo de la hifa, la cual se “hincha” y se convierte en una célula esporógena. Cuando esta célula alcanza el tamaño de llenado, (de 25 a 50 micras), la espora comienza a desarrollarse en el extremo. La capa externa y la capa laminada se desarrollan simultáneamente. La lámina entonces se espesa y las ornamentaciones externas se desarrollan (si se presentan en las especies). Las paredes internas se desarrollan y la última etapa es la formación del escudo de formación (véase figura 2).

Familia: Acaulosporaceae.

Las esporas de esta familia producen esporas asexuales, las cuales:

1. Se originan de la parte estrecha de un sáculo esporífero, que se forma de manera terminal sobre una hifa fértil. Los sáculos frecuentemente cesan al expandirse la espora en crecimiento.
2. Generalmente son sésiles (no atadas a una hifa). La capa exterior de la pared de la espora muda, y tiene continuidad con la pared del cuello del sáculo.
3. Tienen una capa exterior que por lo común se desprende con la edad o con la manipulación durante el proceso de extracción.
4. Forma al menos una capa rígida adicional de la pared de la espora, que puede espesar sutilmente o diferenciarse en subcapas (laminada), difiriendo en color y ornamentaciones de la superficie cuando están presentes.

5. Forma al menos una pared interior flexible. Cuando dos o más paredes interiores flexibles son sintetizadas, la primera pared interior consiste en una o dos capas hialinas, y la segunda consiste en de una capa hialina externa con "cuentas" y una capa interior adherente que varía de flexible a amorfa.
6. El contenido se separa del cuello del sáculo subtendido, esto debido al crecimiento hacia dentro de una capa laminada de la pared de la espora, por lo que la pared de la espora no muestra evidencia de una abertura o poro. En la región de la atadura con la hifa generalmente es evidente un cordoncillo donde la espora y la pared de la hifa fueron conectadas, y esta marca de ovoide a redonda se llama cicatriz.
7. Un tubo germinal emerge de un "ojo de germinación" esférico. Este se origina de la más interior de las dos o más paredes interiores flexibles. Las especies con solamente una pared interior flexible puede formar un ojo de germinación o una estructura análoga.

Género *Acaulospora*. Este género presenta las características mencionadas para la Familia Acaulosporaceae.

Ontogenia de las esporas. El sáculo esporífero se desarrolla de manera explosiva en un extremo de la hifa. Después de que el sáculo se ha expandido ampliamente, se empieza a desarrollar una espora de un lado de la hifa sustentora (llamada "cuello del sáculo"). Conforme la espora madura, el sáculo pierde su contenido (no se vacía dentro de la espora), y eventualmente lo pierde de manera que frecuentemente no está atado a la espora, que ya está madura y llena (véase la figura 3).

Género *Entrophospora*. La diferencia entre este género y *Acaulospora* es que la espora aparece a lo largo de la hifa sustentora conforme se va desarrollando en el cuello del sáculo. Realmente es una pequeña variación en el desarrollo global de las esporas (véase la figura 4).

Familia Diversisporaceae:

Se trata de una familia nueva, en la que se encuentran las especies *Glomus etunicatum*, *Glomus sporcum* y *Glomus versiforme*. Como puede verse, un género no puede estar en dos familias, de manera que aún falta que se establezca un género diferente para estas especies (Alarcón, 2001; Franco, 2002)

Invam.edu, Ferrera-Cerrato, et al., (1993).

Figura 1. Ontogenia de *Gigaspora* y *Scutellospora* (pag. sig.). Célula esporógena celesp; célula bulbosa bul; escudo de germinación esc; hifa sustentora hs.

Figura 2. Ontogenia de *Glomus*, *Paraglomus* y *Archaeospora* (pag. sig.). Expansión del extremo de la espora exp; diferenciación en una espora única dif; esporocarpo espo; espora esp; plexo central plex; peridio peri; hifa sustentora hs.

Figura 3. Ontogenia de *Acaulospora* y *Archaeospora* (pag. sig.). Sáculo esporífero sac; desarrollo de la espora a un lado de la hifa sustentora esp; cuello del sáculo cue; hifa sustentora hs.

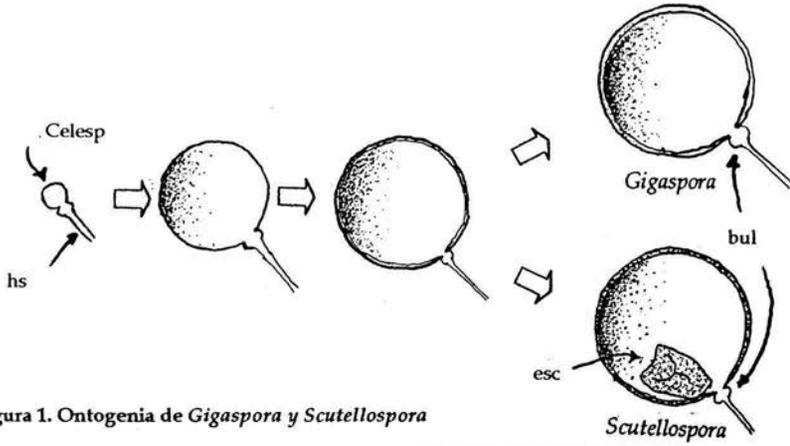


Figura 1. Ontogenia de *Gigaspora* y *Scutellospora*

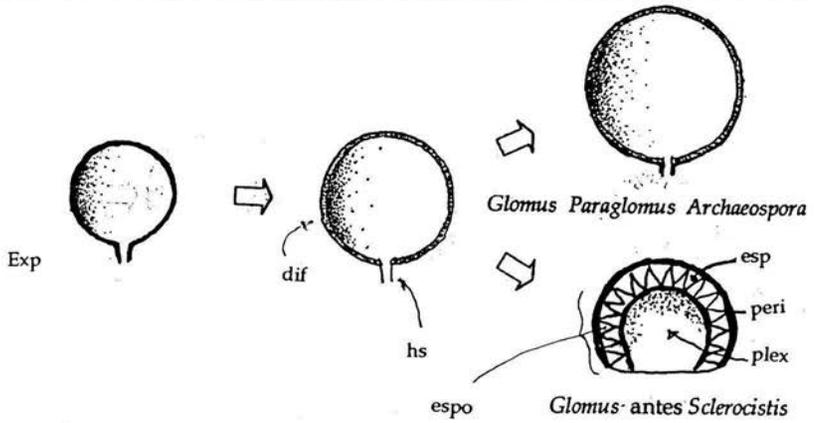


Figura 2. Ontogenia de *Glomus*, *Paraglomus* y *Archaeospora*.

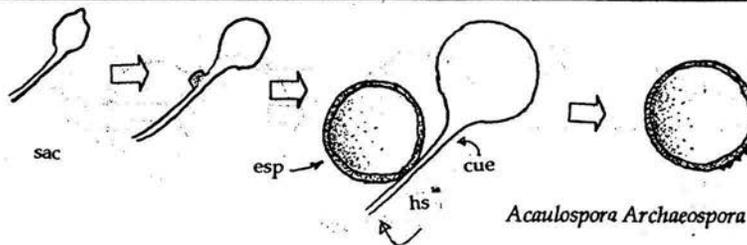


Figura 3. Ontogenia de *Archaeospora* y *Acaulospora*.

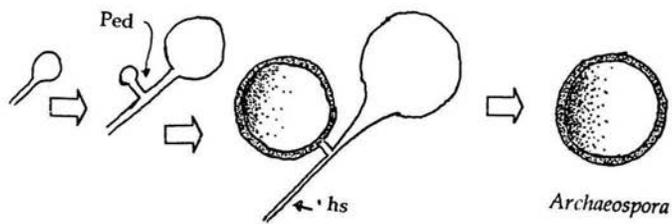
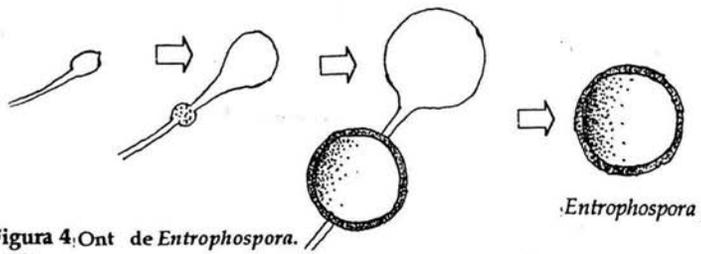


Figura 4. Ontogenia de *Entrophospora*; hifa sustentora *hs*.

Figura 5. Ontogenia de *Archaeospora*. Pedicelo de la espora *ped*; hifa sustentora *hs*.

Ciclo vital de las micorrizas arbusculares. El ciclo de vida de los HMA comienza a partir de los propágulos presentes en el suelo, esto es, las esporas y el micelio originado en una raíz previamente colonizada (véase figura 6).

Las esporas germinan si las circunstancias son favorables, pero los tubos de germinación mueren a menos que cuenten con una raíz huésped y la penetren exitosamente.

El tubo de germinación o hifa infectiva forma un apresorio sobre la superficie de la raíz, produciéndose así la penetración del hongo, que tiene lugar entre dos células epidérmicas (véase figura 7).

Se ramifica de manera intercelular rápidamente en la corteza de la raíz sin invadir endodermis, tejidos vasculares ni meristemos (véase figura 8).

Poco tiempo después de iniciada la infección se desarrollan los arbuscúlos mediante ramificación dicotómica repetida de hifas intracelulares. Con el arbuscúlo, desaparece el almidón de la célula invadida, pasando al hongo, y a su vez, el hongo transloca nutrimentos minerales a la célula de la planta. En esta etapa también se está desarrollando el micelio externo, con el crecimiento de las "hifas exploradoras". Las hifas exploradoras primarias forman ramificaciones con ángulos de alrededor de 45°, originando así hifas exploradoras con órdenes superiores (secundarias, terciarias, etc.), que extienden la colonia de manera radial. Estas hifas exploradoras de orden secundario y superior forman unas ramificaciones cortas que a su vez se ramifican de manera dicotómica para dar lugar a estructuras con apariencia de árbol: las "estructuras ramificadas de absorción" (ERA o BAS, por sus siglas en inglés). Estas estructuras aparecen solas (ERA-s), y en ocasiones asociadas con esporas (ERA-espora).

Luego de formados los arbuscúlos y las ERA, se forman dentro y entre las células corticales de las células de la raíz, las vesículas, las cuales son estructuras ovoides que contienen material lipídico. Estos son órganos de reserva de nutrimentos para el hongo. Al mismo tiempo, en el exterior de la raíz, el micelio externo crece.

Las ERA-s tardan 7 días o más en formarse, período después del cual, entran en un proceso de retracción de su citoplasma, empezando por las ramas más finas, la ERA se vacía y se septa quedando sólo el "esqueleto", esto es, su pared celular.

Las ERA-espora se mantienen viables por tres semanas, tiempo en el que se produce un proceso de esporulación en sus ramas que culmina con la antigua ERA convertido en un grupo de esporas, las que desde luego, se separan de su hifa sustentora, para posteriormente repetir el ciclo de vida (véase figura 9).

El micelio externo permanece infectivo hasta por un año o más, ya que la función citoplasmática puede mantenerse latente, a diferencia de las ERA, en lo que se desarrolla una nueva raíz hospedera en la proximidad, lo que provocaría un nuevo ciclo de vida del hongo (Barea, 1988; Paul y Clarck, 1989; Bago, *et al.*, 2000).

Figura 6. Propágulos micorrízicos. Epidermis epi; Células corticales Cecor; Propágulos Pr; cilindro central CC; apresorio Apr.

Figura 7. Apresorios Esporas germinando EG; apresorio Apr.

Figura 8. Micelio micorrízico. apresorio apr; micelio interno mi; micelio externo me;

Figura 9. Estructuras micorrízicas. Arbúsculo Arb; Vesícula Ves; Estructuras ramificadas de absorción solas ERA-s; Estructuras ramificadas de absorción asociadas a esporas ERA-esp.

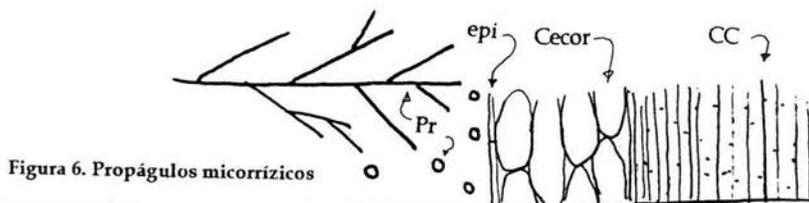


Figura 6. Propágulos micorrizicos

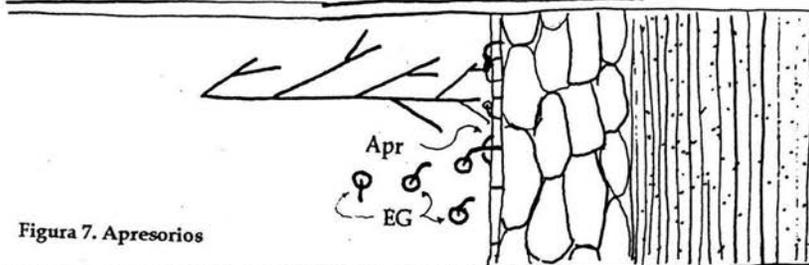


Figura 7. Apresorios

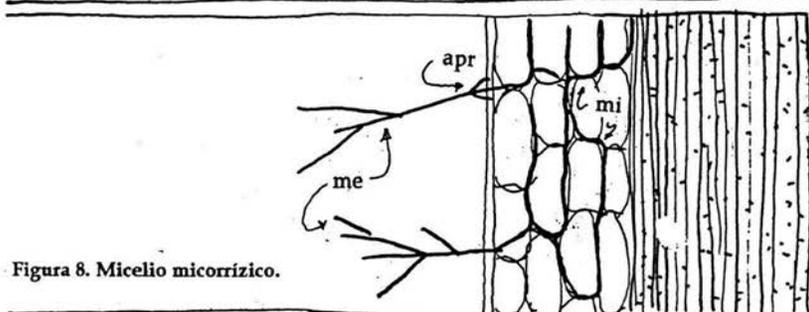


Figura 8. Micelio micorrizico.

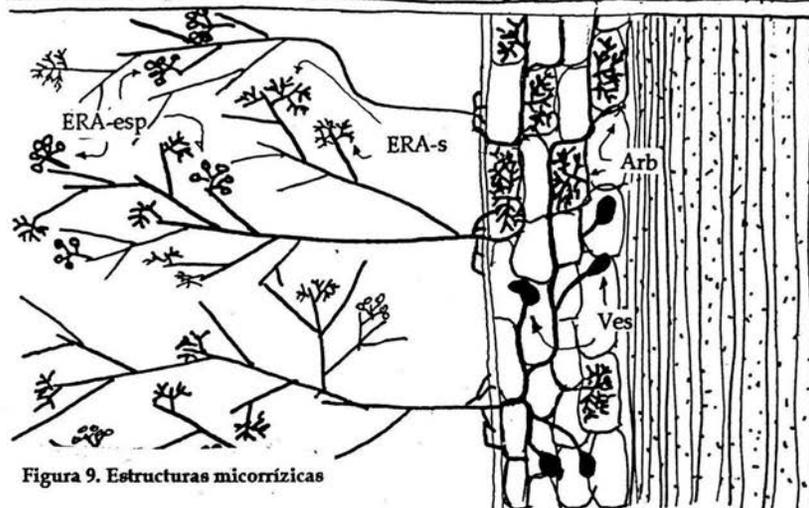


Figura 9. Estructuras micorrizicas

Características del maíz (*Zea mays*), y su clasificación taxonómica**Reino:** Plantae**Subreino:** Embryobionta**División:** Magnoliophyta (=angiosperma, =anthophyta)**Clase:** Liliopsida (monocotiledónea)**Orden:** Gumiiflora**Familia:** Poaceae (Gramineae)**Género:** *Zea***Especie:** *Zea mays*

Existen bastantes variedades de maíz en México y en toda Latinoamérica, casi cada localidad tiene una variedad adaptada a esas condiciones. Sin embargo, por lo general se reconocen algunas subespecies:

Zea mays indurata o maíz cristalino: Granos de almidón compacto y endospermo (membrana que cubre al grano) duro. Conocido en otros países como maíz flint. Este maíz se usa como materia prima para alcohol y almidón, así como para la alimentación.

Zea mays amylacea o maíz amiláceo: Endospermo blando. Granos de almidón no compactos. Cultivos en pequeña escala.

Zea mays everta o maíz reventador o palomero: Tiene granos pequeños. Endospermo extraduro y revienta al tostarse, es por eso que se utiliza en las palomitas.

Zea mays saccharate o maíz dulce: Endospermo con alrededor de 11% de azúcar. Al secarse se torna arrugado. Utilizado para el consumo humano.

Zea mays tunicata o maíz tunicado: El grano puede tener diferentes tipos de endospermo. El maíz tunicado se conoce por la presencia de glumelas bien desarrolladas en los granos.

Zea mays cerea o maíz coráceo: Se distingue por su endospermo ceráceo. Utilizado en la preparación de budines, gomas y adhesivos. Su almidón está compuesto sólo por amilopectina, en vez de una mezcla con amilosa.

Zea mays japonica: Se clasifica como planta hortícola. Sus hojas son rayadas, las cuales tienen aplicaciones de tipo ornamental.

Zea mays gracilina: Es una planta hortícola enana. www.agrored.com.mx

El cultivo del maíz es de régimen anual, cuyo ciclo vegetativo oscila entre 80 y 200 días, desde la siembra hasta la cosecha. Las plantas de maíz presentan la siguiente morfología:

Planta. Es una planta que varía de tamaño según la variedad, como las variedades enanas miden de 40 a 60 cm de altura mientras que las gigantes miden de 200 a 300 cm. El maíz común no produce macollos. El maíz es monoico, es decir, tiene ambos sexos en la misma planta, y es diclina, esto es, que las inflorescencias masculinas y femeninas están separadas. Flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores son estaminadas o pistiladas. Las flores estaminadas o masculinas están representadas por la espiga. Las pistiladas o femeninas son las mazorcas.

Tallo. El tallo es leñoso y cilíndrico. Tiene entre 8 y 25 nudos, 16 en promedio. Los internudos de la región basal de la planta son cortos y medianamente gruesos hacia arriba en el tallo. El tallo entonces adelgazado, termina finalmente en la inflorescencia masculina.

Hoja. Las hojas son dísticas y consisten en una hoja envolvente y la lámina, con una lígula membranosa en la unión de las dos. El limbo de la hoja es lineal lanceolada, acuminada y ondulada, de 50 a 70 cm de largo, con ancho máximo entre 8 a 19 cm, con tricomas a lo largo de los márgenes superiores. La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entre nudo, pero con los extremos desunidos. Su color en la mayoría de los casos es verde.

Sistema radicular. Consta de raíz seminal o principal, raíces adventicias, que funcionan como raíces de sostén o soporte y raíces aéreas.

Raíz seminal o principal. Está representada por la radícula y un grupo de 4 o 5 raíces que crecen al lado del embrión, que pronto dejan de funcionar. Se originan en el embrión. Suministran nutrimentos a las plántulas en las primeras dos semanas.

Raíces adventicias. Son aquellas que se derivan del tallo. El sistema radicular de una planta es casi totalmente de tipo adventicio. Pueden alcanzar hasta 2 metros de profundidad.

Raíces de sostén o soporte. Este tipo de raíces adventicias se originan en los nudos, debajo de la superficie del suelo. Favorecen una mayor estabilidad y disminuyen problemas de acame pues sirven de sostén. Este tipo de raíces realiza la fotosíntesis mientras están expuestas a la luz, pero al entrar al suelo se comportan como las demás raíces de la planta.

Raíces aéreas. Son las raíces adventicias que no alcanzan el suelo (figura 10).

Inflorescencia masculina. Es la espiga o panoja, se localiza en la posición terminal del tallo. Se trata de una panícula ramificada, compacta, las ramas tienen generalmente un arreglo en espiral en torno al extremo del tallo. En ella se encuentran las espiguillas en pares en varias hileras sobre el eje de la caña y en dos hileras alternadas sobre las ramas laterales del tallo floral. De este par de espiguillas, una es sésil y la otra es pedicelada. El eje central superior o terminal lleva más de dos hileras. Cada espiguilla consiste en un par de glumas que envuelven dos flores, cada una de las cuales está encerrada por una lemma y una palea, y tiene por 2 glumelas o lodículos, 3 estambres fértiles y un pistilo rudimentario (figura 11).

Inflorescencia femenina. Consta de rama, hojas y estigmas. La rama surge de un nudo del tallo, y sus entrenudos son muy cortos. Las hojas, que en conjunto se llaman "parfolla", cubren la inflorescencia, y los estigmas; "los cabellos", reciben el polen, llevado por el viento o por las abejas. La rama portadora de la mazorca es muy similar al vástago de una caña, pero sus nudos están muy contraídos, el más alto es el más corto, mientras que los primeros más bajos son progresivamente más largos. Las hojas de la parfolla son muy amplias, y proceden de cada nudo de la rama. Este conjunto de hojas forma una cubierta de protección en torno a la inflorescencia terminal. La inflorescencia pistilada es una espiga con eje engrosado, sobre el cual están las espiguillas pareadas en varias hileras longitudinales. Cada espiguilla pareada está asociada con una cuenca o "cúpula". Las cúpulas de una hilera alternan con las de otra hilera. Ambas espiguillas son sésiles e idénticas. Cada espiguilla tiene 2 flores, teniendo un par de pequeñas glumas membranosas. La flor baja no es funcional, está representada por una lemma y una palea. La flor superior es fértil y consiste en una lemma y una palea membranosas, estambres rudimentarios y un ovario con forma de botón levantado por un estilo en forma de hilo, la "seda o cabello de elote", que crece rápidamente y emerge en el extremo superior de la parfolla. La seda de la base de la mazorca aparece primero y aquellas del extremo salen al último. Los estilos son generalmente receptivos a todo lo largo de los mismos, y en el extremo tienen generalmente una hendidura, que corta al estilo en dos ramas desiguales y cortas, los estigmas (figura 12).

La mazorca. Consiste en una estructura central, el "olote", sobre el cual los granos están dispuestos en hileras. Por lo general en cada planta maduran una o dos mazorcas.

Los granos. Botánicamente, un grano de maíz es una carióspside, esto es, un fruto simple, monocárpico, seco e indehisciente, en que el pericarpio está fusionado con la cubierta de la semilla, formando una dura cubierta protectora. De manera diferente a otros cereales, el raquis del maíz no se desarticula en la madurez y, por lo tanto, no tiene un mecanismo para la dispersión de las semillas. El grano maduro se conforma de 4 partes mayores: el extremo de unión, el pericarpio y la cubierta fusionados, que a ambos se conoce como "el armazón", el endospermo y el embrión o "germen". La relativa proporción de los componentes de un típico diente de maíz, con base al peso seco, es: endospermo, alrededor del 82%; el embrión, cerca del 12%; el "armazón", alrededor del 5% y el extremo de unión alrededor del 1%.

El extremo de unión consiste del remanente del tejido con que el grano estaba unido a la mazorca. En la madurez las células esponjosas del extremo de unión en el punto de enlace al germen, forma un tejido negro, que funciona como sellador.

El armazón está compuesto de varias capas de células pericárpicas. Los integumentos o cubiertas seminales están representados por remanentes no celulares. Hay una cicatriz de seda presente sobre el pericarpio en el ápice del grano.

El endospermo constituye el volumen principal del grano. La capa más exterior del endospermo justo debajo de la epidermis nuclear es la capa de aleurona donde muchas de las proteínas están almacenadas. Una gran parte del endospermo consiste en largas células empacadas con granos de almidón.

El embrión tiene estrecho contacto con el endospermo. El embrión consta de plúmula, radícula y escutelo. La plúmula y la radícula están cada uno encerrado en una cubierta conocida como coleóptilo y coleorriza, respectivamente. El escutelo o cotiledón es una estructura oval con forma de escudo. El embrión es relativamente rico en grasas (cerca de 6%), minerales, proteínas y azúcares (figura 13). (Kochhor, 1981; Bartolini, 1990; Parsons, 1990; Moreno, 1996; López, 1998).

Figura 10 Planta de maíz tallo ta; nudo nu hoja ho; raíces adventicias rad; raíces aéreas rae; mazorca maz; internudos de la rama axilar ram; parfolia par hoja sustentora hosus.

Figura 11 Inflorescencia masculina o espiga. Flor sésil Fs; Flor pedicelada Fp; Palea pa; Lemma lem; gluma glu; estambres de la flor superior esta; flor superior fl; flor baja fértil f2.

Figura 12 Inflorescencia femenina. cúpula cup; baja gluma bglu; gluma superior glus; flor fértil ff; estilo est.

Figura 13 Cariópside remanente del estilo rem; endospermo end; capa de aleurona aleu; escutelo esc; plúmula plu; hipocotilo hip; radícula rad; extremo inferior ext; pericarpio fusionado con la testa per.

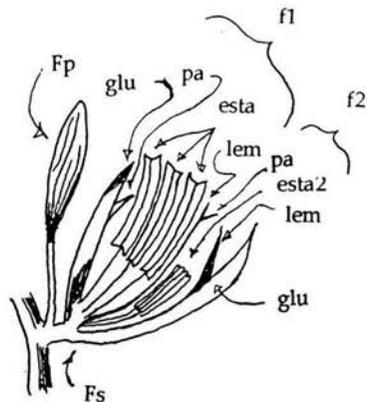
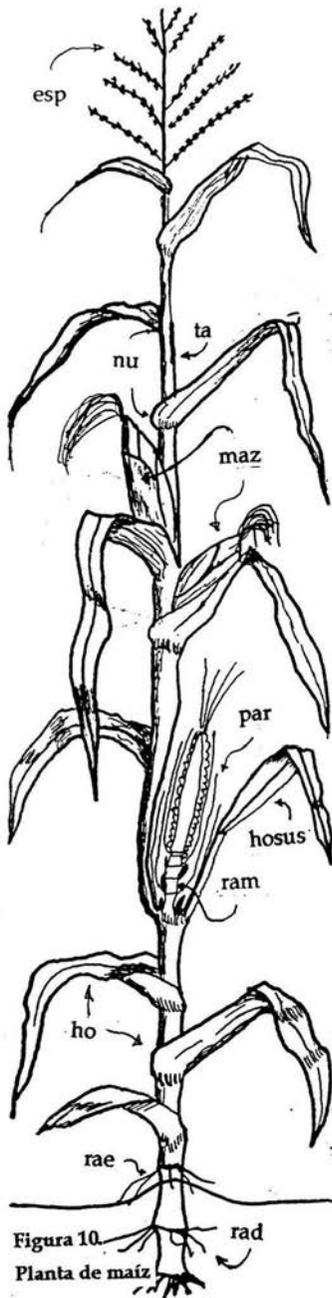


Figura 11. Inflorescencia masculina o espiga

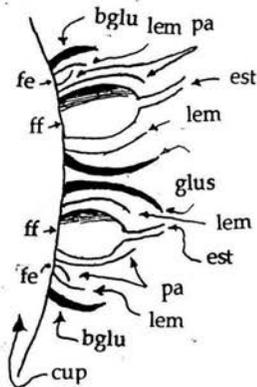


Figura 12. Inflorescencia femenina

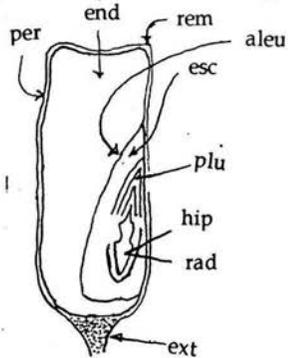


Figura 13. Cariópside

Características del haba (*Vicia faba*), y su clasificación taxonómica.

El haba (*Vicia faba* L.) es una especie dicotiledónea anual, perteneciente a la familia de las fabáceas (papilionáceas), según la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

Subreino: Embryobionta

División: Magnoliophyta (=angiosperma, =anthophyta)

Clase: Magnoliópsida (dicotiledónea)

Orden: Fabales

Familia: Leguminosae (Fabaceae)

Género: *Vicia*

Especie: *Vicia faba* L.

De esta especie, se distinguen tres variedades botánicas, todas cultivadas, las cuales se diferencian fundamentalmente por el tamaño de sus semillas:

***Vicia faba* L. var. *minor* (Harz) Beck:** Sus semillas son de tamaño pequeño, de forma elipsoidal y pesan en promedio entre 0.3 y 0.7 g cada una. Sus vainas son cilíndricas, miden entre 8 y 15 cm de largo y contienen de tres a cuatro semillas; estas últimas miden entre 0.7 y 1.3 cm de largo.

***Vicia faba* L. var. *equina* Pers.:** Sus semillas son de tamaño mediano, de forma aplastada y el peso promedio de cada una varía entre 0.7 y 1.1 g. Las vainas, que son de tamaño intermedio, presentan una dehiscencia moderada y contienen de tres a cuatro semillas; estas últimas miden entre 1.3 y 1.7 cm de largo.

***Vicia faba* L. var. *major* (Harz) Beck:** Es la más usada para su consumo en verde; sus semillas, alcanzan un peso promedio de entre 1.2 y 1.8 g. Sus vainas son indehiscentes, miden entre 12 y 35 cm de largo y contienen de cuatro a cinco semillas; estas miden entre 2 y 3 cm de largo.

Raíces. La radícula, desde que inicia su crecimiento, es muy vigorosa, y prontamente luego de ocurrida la emergencia de la plántula emite una gran cantidad de raíces secundarias. La radícula se va transformando gradualmente en una raíz pivotante, la cual logra profundizar en el suelo en forma relativamente rápida. El sistema radical es en definitiva bastante vigoroso, generándole largas raíces laterales a partir de la raíz pivotante; esta puede alcanzar hasta 1 m de profundidad, pero lo normal es que su crecimiento se produzca en los primeros 50 a 60 cm del suelo.

Tallo principal y ramas. Los tallos son erectos, robustos, huecos y de sección cuadrangular; pueden alcanzar hasta 2 m de altura, aunque lo normal es que esta fluctúe entre 0.8 y 1.2 m. A partir de los nudos basales del tallo principal pueden originarse entre una y hasta 5 ramas por planta; la mayor parte de las ramas comienza su desarrollo tempranamente luego de ocurrida la emergencia.

Las ramas basales, alcanzan un crecimiento que en muchos casos se asemeja al del caso del principal; las ramas basales aportan, en entre el 50 y 70% de las vainas producidas por una planta.

Hojas. Luego de desplegarse la primera hoja verdadera, el tallo principal se elonga y aparecen dos hojas vestigiales apenas visibles, estas son alternas y se ubican en los dos primeros nudos por debajo de la primera hoja. Para efectos prácticos, el primer nudo corresponde a aquel en que se presenta la primera hoja verdadera.

Las hojas son alternas, presentan en su base un par de estípulas de escaso tamaño, generalmente dentadas y están compuestas por dos a seis folíolos ovales. Los folíolos, son a su vez, generalmente alternos, sésiles, de color verde grisáceo y miden entre 5 y 6 cm de largo.

Durante la etapa de llenado de granos se inicia el proceso de senescencia en las hojas basales. A partir de ese estado la senescencia de hojas continúa ocurriendo gradualmente en forma ascendente; esta situación debe atribuirse principalmente al sombreado que van sufriendo las hojas y en segundo término a una declinación en la actividad en las raíces, a incrementos en la temperatura y a la presencia de *Botrytis fabae*.

Nudos vegetativos y reproductivos. El número de nudos vegetativos en el tallo principal es una característica bastante estable a nivel de cada cultivar, siendo normalmente 7 en los cultivares de la variedad *major* mientras que en las ramas basales varía entre tres y cuatro. Luego que se completan los nudos vegetativos, tanto a nivel del tallo principal como de las ramas basales, comienzan a producirse, en una secuencia ascendente, los nudos reproductivos, éstos se reproducen en gran número, existiendo escasas diferencias entre la cantidad producida por el tallo principal y por cada rama basal; el promedio de nudos reproductivos por tallo en la variedad *major*, varía entre 12 y 18 (figura 14).

Flores e inflorescencias. La flor de haba está formada por 5 pétalos, y que corresponden al estandarte o pétalo posterior, a las alas o pétalos laterales y a la quilla que está formada por los pétalos anteriores unidos entre sí. Los pétalos pueden ser totalmente blancos, o presentar manchas, las cuales pueden ser de color púrpura o negro.

Las flores se encuentran dispuestas en inflorescencias que corresponden a cortos racimos axilares. En una planta el número de flores por racimo varía entre dos y seis, alcanzándose un promedio que varía entre tres y cuatro.

Floración. La floración se inicia a partir del primer nudo reproductivo en el tallo principal y se generaliza a los primeros nudos de las ramas. Las flores se producen en racimos florales ordenadamente desde los nudos basales hacia los nudos superiores (floración acropétala) (figuras 15 y 16).

Vainas. Las vainas o legumbres corresponden a frutos, los cuáles están compuestos por dos valvas provenientes del ovario. Las vainas, que son rectas y carnosas en sus estados iniciales, presentan un interior esponjoso, felpudo y de color blanco; la parte interna de las vainas corresponde al mesocarpio y endocarpio. La longitud de las vainas de la variedad *major* alcanza valores iguales o inferiores de 15 cm, y el ancho de las vainas varía entre 2.0 y 2.5 cm.

Etapa de llenado de granos. El haba, a diferencia de otras leguminosas de grano, la elongación de las vainas y el crecimiento de los granos se producen en forma simultánea; los granos inmaduros van incrementando su tamaño hasta alcanzar su madurez óptima para consumo en verde con una humedad de 72 a 74%

Semilla. La semilla está compuesta por la testa, los cotiledones y el eje embrionario; en el punto en que la semilla se conecta a la vaina a través del funículo existe una cicatriz que corresponde al hilio. Prácticamente junto a uno de los extremos del hilio se presenta el micrópilo, que corresponde a una abertura natural microscópica, a través de la cual ingresa agua a la semilla en sus estados (figura 17). (Harrison, *et al.*, 1980; Moreno, 1996; López, 1998; http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/legumino/haba.htm).

Figura 14 Planta de haba tallo principal t1; tallos secundarios t2; vainas va; hojas compuestas ho; raíces ra.

Figura 15 Posición axilar de las flores en la planta

Figura 16 Flor de haba. Pedicelo pe; cáliz cal; estandarte stand; pistilo pist; estambre est; quilla qui; alas al.

Figura 17 vainas y semillas. testa tes; cotiledones cot; funículo fun; hilio hi; micrópilo mic; radícula rad; hipocotilo hip; epicotilo epi; placenta pla plúmula plu.



Figura 14. Planta de haba



Figura 15. Posición axilar de las flores en la planta

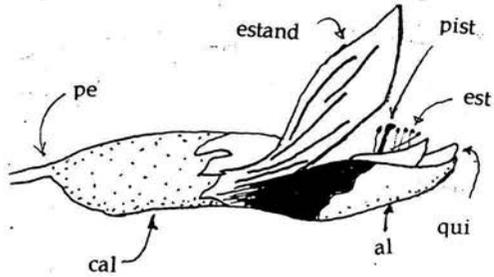


Figura 16. Flor de haba

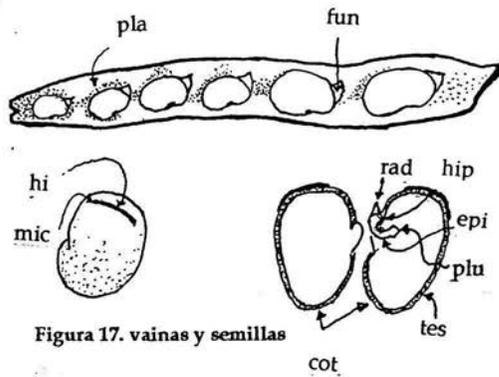


Figura 17. vainas y semillas

Apéndice I.

Análisis de rango múltiple para porcentaje de colonización total en raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y $\alpha = 0.05$

Cuadro 8. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|-------|-------------------|
| 4(F-M-C) | 20 | 39.5 | X |
| 3(F-M) | 20 | 48.0 | XX |
| 2(F) | 20 | 55.25 | XX |
| 6(C) | 20 | 62.50 | XXX |
| 5(M-C) | 20 | 70.50 | XX |
| 1(T) | 20 | 77.00 | X |

Cuadro 9. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- Límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1-2 | 21.75 | 15.0512 | * |
| 1-3 | 29 | 15.0512 | * |
| 1-4 | 37.5 | 15.0512 | * |
| 1-5 | 7.00 | 15.0512 | |
| 1-6 | 14.25 | 15.0512 | |
| 2-3 | 7.25 | 15.0512 | |
| 2-4 | 15.75 | 15.0512 | * |
| 2-5 | -14.75 | 15.0512 | |
| 2-6 | -7.50 | 15.0512 | |
| 3-4 | 8.5 | 15.0512 | |
| 3-5 | -22.00 | 15.0512 | * |
| 3-6 | -14.75 | 15.0512 | |
| 4-5 | -30.50 | 15.0512 | * |
| 4-6 | -23.25 | 15.0512 | * |
| 5-6 | 7.25 | 15.0512 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para el porcentaje de colonización vesicular en raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y $\alpha = 0.05$.

Cuadro 10. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 4(F+M+C) | 4 | 4.75 | X |
| 2(F) | 4 | 10.75 | XX |
| 3(F+M) | 4 | 12.5 | XX |
| 1(T) | 4 | 18.75 | XX |
| 6(C) | 4 | 21.25 | XX |
| 5(M+C) | 4 | 29.25 | X |

Cuadro 11. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- Límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1-2 | 8 | 23.7180 | |
| 1-3 | 6.75 | 23.7180 | |
| 1-4 | 14.00 | 23.7180 | |
| 1-5 | -10.5 | 23.7180 | |
| 1-6 | -2.5 | 23.7180 | |
| 2-3 | -1.25 | 23.7180 | |
| 2-4 | 6.00 | 23.7180 | |
| 2-5 | -18.5 | 23.7180 | |
| 2-6 | -10.5 | 23.7180 | |
| 3-4 | 7.25 | 23.7180 | |
| 3-5 | -17.25 | 23.7180 | |
| 3-6 | -9.25 | 23.7180 | |
| 4-5 | -24.5 | 23.7180 | * |
| 4-6 | -16.5 | 23.7180 | |
| 5-6 | 8.00 | 23.7180 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para porcentaje de colonización arbuscular en raíces de maíz por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95% y $\alpha = 0.05$.

Cuadro 12. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 4(F+M+C) | 4 | 39.25 | X |
| 3(F+M) | 4 | 47.00 | XX |
| 2(F) | 4 | 55.25 | XXX |
| 6(C) | 4 | 62.25 | XXX |
| 5(M+C) | 4 | 70.25 | XX |
| 1(T) | 4 | 74.00 | X |

Cuadro 13. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- Límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1-2 | 18.75 | 25.5706 | |
| 1-3 | 27.00 | 25.5706 | * |
| 1-4 | 34.75 | 25.5706 | * |
| 1-5 | 3.75 | 25.5706 | |
| 1-6 | 11.75 | 25.5706 | |
| 2-3 | 8.25 | 25.5706 | |
| 2-4 | 16.00 | 25.5706 | |
| 2-5 | -15.00 | 25.5706 | |
| 2-6 | -7.00 | 25.5706 | |
| 3-4 | 7.75 | 25.5706 | |
| 3-5 | -23.25 | 25.5706 | |
| 3-6 | -15.25 | 25.5706 | |
| 4-5 | -31.00 | 25.5706 | * |
| 4-6 | -23.00 | 25.5706 | |
| 5-6 | 8.00 | 25.5706 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de maíz a los 76 días de la siembra (1° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y $\alpha = 0.05$.

Cuadro 14. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 1(T) | 20 | 41.15 | X |
| 5(M+C) | 20 | 47.20 | XX |
| 6(C) | 20 | 48.10 | XX |
| 3(F+M) | 20 | 52.25 | XX |
| 2(F) | 20 | 59.25 | X |
| 4(F+M+C) | 20 | 60.00 | X |

Cuadro 15. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | -18.10 | 10.8203 | * |
| 1 - 3 | -11.1 | 10.8203 | * |
| 1 - 4 | -18.85 | 10.8203 | * |
| 1 - 5 | -6.05 | 10.8203 | |
| 1 - 6 | -6.95 | 10.8203 | |
| 2 - 3 | 7.00 | 10.8203 | |
| 2 - 4 | -0.75 | 10.8203 | |
| 2 - 5 | 12.05 | 10.8203 | * |
| 2 - 6 | 11.15 | 10.8203 | * |
| 3 - 4 | -7.75 | 10.8203 | |
| 3 - 5 | 5.05 | 10.8203 | |
| 3 - 6 | 4.15 | 10.8203 | |
| 4 - 5 | 12.80 | 10.8203 | * |
| 4 - 6 | 11.90 | 10.8203 | * |
| 5 - 6 | -0.90 | 10.8203 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de maíz a los 125 días de la siembra (2° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y $\alpha = 0.05$.

Cuadro 16. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 1(T) | 20 | 150.95 | X |
| 5(M-C) | 20 | 163.25 | XX |
| 4(F-M-C) | 20 | 168.25 | XX |
| 6(C) | 20 | 175.00 | XX |
| 2(F) | 20 | 175.90 | XX |
| 3(F-M) | 20 | 186.00 | X |

Cuadro 17. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | -24.95 | 31.5280 | |
| 1 - 3 | -35.05 | 31.5280 | * |
| 1 - 4 | -17.30 | 31.5280 | |
| 1 - 5 | -12.30 | 31.5280 | |
| 1 - 6 | -24.05 | 31.5280 | |
| 2 - 3 | -10.10 | 31.5280 | |
| 2 - 4 | 7.65 | 31.5280 | |
| 2 - 5 | 12.65 | 31.5280 | |
| 2 - 6 | 0.90 | 31.5280 | |
| 3 - 4 | 17.75 | 31.5280 | |
| 3 - 5 | 22.75 | 31.5280 | |
| 3 - 6 | 11.00 | 31.5280 | |
| 4 - 5 | 5.00 | 31.5280 | |
| 4 - 6 | -6.75 | 31.5280 | |
| 5 - 6 | -11.75 | 31.5280 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de maíz a los 157 días de la siembra (3° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y $\alpha = 0.05$

Cuadro 18. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 4(F-M-C) | 20 | 211.50 | X |
| 2(F) | 20 | 238.00 | XX |
| 5(M-C) | 20 | 238.00 | XX |
| 1(T) | 20 | 242.50 | X |
| 3(F-M) | 20 | 243.00 | X |
| 6(C) | 20 | 255.50 | X |

Cuadro 19. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | 4.5 | 28.6282 | |
| 1 - 3 | -0.5 | 28.6282 | |
| 1 - 4 | 31.0 | 28.6282 | * |
| 1 - 5 | 4.5 | 28.6282 | |
| 1 - 6 | -13.0 | 28.6282 | |
| 2 - 3 | -5.0 | 28.6282 | |
| 2 - 4 | 26.5 | 28.6282 | |
| 2 - 5 | 0.00 | 28.6282 | |
| 2 - 6 | -17.5 | 28.6282 | |
| 3 - 4 | 31.5 | 28.6282 | * |
| 3 - 5 | 5.00 | 28.6282 | |
| 3 - 6 | -12.5 | 28.6282 | |
| 4 - 5 | -26.5 | 28.6282 | |
| 4 - 6 | -44.0 | 28.6282 | * |
| 5 - 6 | -17.5 | 28.6282 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Apéndice II.

Análisis de rango múltiple para porcentaje de colonización total de raíces de haba por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95% y $\alpha = 0.05$.

Cuadro 20. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 6(C) | 20 | 86.25 | X |
| 4(F-M-C) | 20 | 92.15 | XX |
| 2(F) | 20 | 99.00 | X |
| 5(M-C) | 20 | 99.00 | X |
| 1(T) | 20 | 100.00 | X |
| 3(F-M) | 20 | 100.00 | X |

Cuadro 21. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencias | +/- Límites | Diferencias significativas |
|-----------|-------------|-------------|----------------------------|
| 1-2 | 1.0 | 12.4323 | |
| 1-3 | 0.00 | 12.4323 | |
| 1-4 | 7.85 | 12.4323 | |
| 1-5 | 1.0 | 12.4323 | |
| 1-6 | 13.75 | 12.4323 | * |
| 2-3 | -1.00 | 12.4323 | |
| 2-4 | 6.85 | 12.4323 | |
| 2-5 | 0.00 | 12.4323 | |
| 2-6 | 12.74 | 12.4323 | * |
| 3-4 | 7.85 | 12.4323 | |
| 3-5 | 1.00 | 12.4323 | |
| 3-6 | 13.75 | 12.4323 | * |
| 4-5 | -6.85 | 12.4323 | |
| 4-6 | 5.9 | 12.4323 | |
| 5-6 | 12.75 | 12.4323 | * |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para concentración de N foliar en el segundo muestreo de haba por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$

Cuadro 22. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|---------|-------------------|
| 6(C) | 4 | 3.5544 | X |
| 3(F-M) | 4 | 4.3356 | X |
| 1(T) | 4 | 4.3356 | X |
| 2(F) | 4 | 4.68715 | X |
| 4(F-M-C) | 4 | 4.7653 | X |
| 5(M-C) | 4 | 4.80435 | X |

Cuadro 23. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | -0.35150 | 0.77659 | |
| 1 - 3 | 0.00005 | 0.77659 | |
| 1 - 4 | -0.42965 | 0.77659 | |
| 1 - 5 | -0.46870 | 0.77659 | |
| 1 - 6 | 0.78125 | 0.77659 | * |
| 2 - 3 | 0.35155 | 0.77659 | |
| 2 - 4 | -0.07815 | 0.77659 | |
| 2 - 5 | -0.11720 | 0.77659 | |
| 2 - 6 | 1.13275 | 0.77659 | * |
| 3 - 4 | 0.42970 | 0.77659 | |
| 3 - 5 | -0.46875 | 0.77659 | |
| 3 - 6 | 0.7812 | 0.77659 | * |
| 4 - 5 | -0.03905 | 0.77659 | |
| 4 - 6 | 1.21090 | 0.77659 | * |
| 5 - 6 | 1.24995 | 0.77659 | * |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de haba a los 76 días de la siembra (1° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$.

Cuadro 24. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 5(M-C) | 20 | 21.40 | X |
| 6(C) | 20 | 21.50 | X |
| 2(F) | 20 | 22.85 | XX |
| 4(F-M-C) | 20 | 23.50 | XX |
| 3(F-M) | 20 | 24.90 | XX |
| 1(T) | 20 | 27.15 | X |

Cuadro 25. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | 4.30 | 5.55463 | |
| 1 - 3 | 2.25 | 5.55463 | |
| 1 - 4 | 3.65 | 5.55463 | |
| 1 - 5 | 5.75 | 5.55463 | * |
| 1 - 6 | 5.65 | 5.55463 | * |
| 2 - 3 | -2.05 | 5.55463 | |
| 2 - 4 | -0.65 | 5.55463 | |
| 2 - 5 | 1.45 | 5.55463 | |
| 2 - 6 | 1.35 | 5.55463 | |
| 3 - 4 | 1.40 | 5.55463 | |
| 3 - 5 | 3.50 | 5.55463 | |
| 3 - 6 | 3.40 | 5.55463 | |
| 4 - 5 | 2.10 | 5.55463 | |
| 4 - 6 | 2.00 | 5.55463 | |
| 5 - 6 | -0.10 | 5.55463 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de haba a los 125 días de la siembra (2° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$.

Cuadro 26. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 4(F-M-C) | 20 | 95.45 | X |
| 3(F-M) | 20 | 102.85 | XX |
| 1(T) | 20 | 106.60 | XX |
| 2(F) | 20 | 108.25 | XX |
| 5(M-C) | 20 | 109.15 | XX |
| 6(C) | 20 | 115.50 | X |

Cuadro 27. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | -1.65 | 18.0718 | |
| 1 - 3 | 3.75 | 18.0718 | |
| 1 - 4 | 11.15 | 18.0718 | |
| 1 - 5 | -2.55 | 18.0718 | |
| 1 - 6 | -8.90 | 18.0718 | |
| 2 - 3 | 5.40 | 18.0718 | |
| 2 - 4 | 12.80 | 18.0718 | |
| 2 - 5 | -0.90 | 18.0718 | |
| 2 - 6 | -7.25 | 18.0718 | |
| 3 - 4 | 7.40 | 18.0718 | |
| 3 - 5 | -6.30 | 18.0718 | |
| 3 - 6 | -12.65 | 18.0718 | |
| 4 - 5 | -13.70 | 18.0718 | |
| 4 - 6 | -20.05 | 18.0718 | * |
| 5 - 6 | -6.35 | 18.0718 | |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

Análisis de rango múltiple para longitud de las plantas de haba a los 157 días de la siembra (3° muestreo, en centímetros) por tratamiento, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$.

Cuadro 28. Medias de los tratamientos

| Tratamiento | Repeticiones | Medias | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|--------|-------------------|
| 4(F-M-C) | 20 | 129 | X |
| 5(M-C) | 20 | 145 | XX |
| 3(F-M) | 20 | 147 | XX |
| 2(F) | 20 | 149 | XX |
| 1(T) | 20 | 152 | XX |
| 6(C) | 20 | 167 | X |

Cuadro 29. Diferencias significativas

| Contraste | Diferencia | +/- límites | Diferencias significativas |
|-----------|------------|-------------|----------------------------|
| 1 - 2 | 3.00 | 18.9225 | |
| 1 - 3 | 4.50 | 18.9225 | |
| 1 - 4 | 23.00 | 18.9225 | * |
| 1 - 5 | 7.00 | 18.9225 | |
| 1 - 6 | -15.00 | 18.9225 | |
| 2 - 3 | 1.50 | 18.9225 | |
| 2 - 4 | 20.00 | 18.9225 | * |
| 2 - 5 | 4.00 | 18.9225 | |
| 2 - 6 | -18.00 | 18.9225 | |
| 3 - 4 | 18.50 | 18.9225 | |
| 3 - 5 | 2.50 | 18.9225 | |
| 3 - 6 | -19.50 | 18.9225 | * |
| 4 - 5 | -16.00 | 18.9225 | |
| 4 - 6 | -38.00 | 18.9225 | * |
| 5 - 6 | -22.00 | 18.9225 | * |

Trat. 1 testigo

Trat. 2 fertilización química

Trat. 3 fertilizante micorriza

Trat. 4 fertilizante micorriza composta

Trat. 5 micorriza composta

Trat. 6 composta

"todo se pierde en
la vida".

R. R. G.