

## EFFECTO DE LA ENDOMICORRIZA V-A EN MAIZ Y FRIJOL SEMBRADOS SOLOS O ASOCIADOS EN CONDICIONES DE CAMPO

Effect of (V-A) Endomycorrhizal Fungi on Corn and Bean Under Multiple Crop System

R.A. Guzmán-Plazola<sup>1)</sup>, R. Ferrera-Cerrato<sup>1)</sup> y G.J. Bethlenfalvay<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

<sup>2)</sup>Western Regional Research Center, USDA-ARS, Albany, CA 9470, USA

*Palabras clave:* Micorriza, Maíz, Frijol, Asociación.

*Index words:* Mycorrhiza, Corn, Bean, Multiple crop system.

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación micorrizica en maíz y frijol, sembrados en unicultivo o en asociación, bajo condiciones de campo, en un suelo de baja fertilidad fumigado con bromuro de metilo. En las parcelas no micorrizadas, la biomasa producida por el maíz bajo unicultivo, fue similar a la observada en la asociación maíz-frijol, mientras que la leguminosa sembrada sola y sin micorriza, tuvo menor producción de biomasa. Con la inoculación, la actividad micorrizica permitió incrementar la absorción de fósforo y nitrógeno y la producción de biomasa en ambas especies de planta, pero el efecto fue mayor cuando se sembró una sola especie. Esta diferencia es explicada por los distintos requerimientos de potencial de inóculo micorrizico en el sistema asociado respecto al unicultivo, en adición al posible efecto de la competencia entre el maíz y el frijol por agua, luz y nutrimentos.

Recibido 07-91

### SUMMARY

Mycorrhizal effects on corn and bean, grown as mixed crop or as monoculture, were evaluated under field conditions in a low fertility soil, fumigated with methyl bromide. In the non-inoculated plots, total nitrogen and phosphorus uptake and total biomass of the corn plants were similar to the corn-bean association, while bean cultivated alone had lower values. In the inoculated plots, mycorrhizal activity increased nitrogen and phosphorus uptake and the biomass production in both species, but the effect was higher in the monoculture. This difference is explained by different rates of inoculum potential required for each cropping system, in addition of the possible effect of competition between corn and bean for water, light and nutrients.

### INTRODUCCION

En el proceso de búsqueda de alternativas para incrementar la producción de alimentos a la vez que logre la estabilidad ecológica de los sistemas de producción, se ha propuesto que la asociación de cultivos puede ser una opción adecuada para alcanzar tales objetivos. Este tipo de sistemas de producción parece tener, bajo ciertas condiciones, algunas ventajas respecto a los unicultivos, entre las que destacan la baja variabilidad en el rendimiento de un ciclo a otro, la menor susceptibilidad de los cultivos a las plagas.

enfermedades y maleza y la posibilidad de obtener en el mismo terreno mayor producción de biomasa útil por unidad de superficie (Krishnamurthy, 1984).

La asociación de cultivos es una práctica común en diversas regiones del mundo (Krishnamurthy, 1984). En México, el maíz y frijol son las especies que más frecuentemente se cultivan en asociación. Los orígenes de esta práctica se remontan al inicio del proceso de domesticación de ambas especies. Según Miranda (1967) las variedades de maíz y frijol silvestres tienen la misma área de distribución y además de poseer un ciclo vegetativo similar, el maíz ("teozintle") llega a servir de soporte natural al frijol.

Debido a la importancia económica y ecológica de la asociación de maíz y frijol en México, se han realizado diversos trabajos de investigación enfocados principalmente a la evaluación de variedades, densidades de población, niveles de fertilización y tipos de fertilizante, y en algunos casos hacia el estudio y manejo de plagas y enfermedades; sin embargo, se conoce poco acerca de las interacciones microbianas que ocurren a nivel radical cuando ambas especies son asociadas.

Tanto el maíz como el frijol pueden responder positivamente a la inoculación con hongos micorrízicos cuando los suelos son de baja fertilidad (Aguirre, 1985; Gerdemann, 1964; Guzmán-Plazola *et al.*, 1992; Khan, 1972; Reyes y Ferrera-Cerrato, 1987). Van Kessel *et al.* (1985) observaron que al permitir la asociación de una parte del sistema radical de plantas de soya con raíces de maíz ocurrió incremento en la transferencia de nitrógeno de la leguminosa a la gramínea debido a la presencia de hongos micorrízicos. Guzmán-Plazola *et al.* (1992) demostraron que al sembrar ambas especies en forma adyacente son capaces de desarrollar un sistema micorrízico común mediante la invasión de micelio asociado inicialmente a una de las dos plantas, lo cual afecta significativamente su crecimiento y contenido nutrimental. Sin embargo, las interacciones pueden variar considerablemente cuando los sistemas radicales comparten el mismo volumen de suelo y compiten por luz y nutrimentos; debido a esto, en el presente trabajo se ha estudiado la influencia del sistema de cultivo sobre el efecto de la simbiosis micorrízica en ambas especies.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento en condiciones de campo, en un suelo (Typic durandep) con profundidad media de 40 cm, que contenía 11 ppm P (Olsen), 0.07% N, 1.23% de materia orgánica y 0.34, 23.1, 5.42 y 42 meq de K, Ca, Mg y Na/100 g de suelo, respectivamente.

La unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 4 m de largo, separados 90 cm entre sí. Quince días antes de la siembra, cada unidad experimental fue fumigada con 7.5 libras de bromuro de metilo, utilizando polietileno de color negro como cubierta, el cual fue retirado una semana después. Durante la semana siguiente el suelo fue mezclado con una pala para facilitar la liberación del biocida.

Fueron evaluados seis tratamientos: 1) frijol sembrado solo, sin inoculación; 2) maíz sembrado solo, sin inoculación; 3) maíz y frijol sembrados en asociación, sin inoculación; 4) frijol sembrado solo e inoculado (con *Glomus sp* Zac-3); 5) maíz sembrado solo e inoculado y 6) maíz y frijol sembrados en asociación e inoculados.

En los tratamientos micorrizados fue depositado en cada mata, junto con la semilla, 1 g de raíces de alfalfa con 75% de colonización por la cepa Zac-3 de *Glomus sp* y 100 ml de suelo-inóculo que contenía aproximadamente 1200 esporas. Todas las plantas de frijol fueron pelletizadas con inóculo con base de turba, que contenía  $1 \times 10^8$  bacterias de la cepa de *Rhizobium* CPMEX-1/g de turba. En ningún caso se aplicaron fertilizantes al suelo.

La siembra fue realizada el 10 de julio de 1989. En las parcelas de maíz, cultivado solo o asociado con frijol, se sembró a una distancia de 50 cm entre matas; en las parcelas de frijol en unicultivo la separación fue de 20 cm. Una semana después de la emergencia se realizó un raleo, dejando dos plantas de cada especie en cada mata. La densidad de población en el primer caso fue de 45000 plantas de maíz y 45000 de frijol  $\text{ha}^{-1}$ , mientras que en el segundo fue de 110000 plantas de frijol  $\text{ha}^{-1}$ . Los tratamientos fueron distribuidos en el campo mediante un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones.

Se realizó un muestreo a 105 días de la siembra. En cada parcela fue colectada la parte aérea de cuatro matas con competencia completa, pero sólo en dos de ellas se extrajo la raíz. En cada especie fue determinado el peso seco de raíz, tallos y hojas, la colonización micorrizica y el contenido de nitrógeno y fósforo en cada uno de estos componentes. Los valores obtenidos en cada variable fueron extrapolados a  $\text{kg ha}^{-1}$  para hacer comparable los tratamientos con diferente sistema de cultivo.

Para la determinación de los pesos secos, los diferentes materiales fueron sometidos previamente a  $70^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas utilizando una estufa de aire forzado. Para la evaluación de la colonización micorrizica, las raíces de cada planta fueron cortadas en segmentos de 1 a 1.5 cm y mezcladas cuidadosamente para tomar una muestra representativa de 2 a 3 g de peso fresco, la cual fue fijada mediante una solución preparada con 65 ml de formol, 25 ml de ácido acético glacial y 1000 ml de alcohol al 50% (FAA); posteriormente se realizó el clareo y coloración en base al método de Phillips y Hayman (1970), utilizando azul de tripano al 0.05% como colorante. La colonización fue determinada mediante el método de intersección de cuadrantes descrito por Giovannetti y Mosse (1980). El peso seco de la muestra utilizada para medir la micorrización fue estimado tomando en cuenta el contenido de humedad de la fracción remanente. El peso seco de raíz fue calculado sumando el peso seco de ambas fracciones.

El porcentaje de nitrógeno fue determinado mediante el método microkjeldal modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965). El porcentaje de fósforo fue medido utilizando el método de digestión húmeda en ácido nítrico-perclórico y cuantificación colorimétrica con molibdo-vanadato de amonio (AOAC, 1980). La estimación de los contenidos totales de ambos elementos fue realizada con base en el peso seco de cada uno de los órganos de la planta que fueron evaluados.

## RESULTADOS

El sistema de cultivo determinó variaciones considerables en la producción de materia seca por las plantas de maíz (Cuadro 1). Cuando esta especie fue sembrada en unicultivo

produjo mayor cantidad de biomasa por hectárea que al sembrarla en asociación con el frijol. Bajo esas condiciones, la actividad del hongo micorrizico estimuló considerablemente la acumulación de biomasa en raíces, tallos y hojas.

Cuadro 1. Efecto de la endomicorriza V-A sobre la producción de materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de maíz sembrado sólo o en asociación con frijol en condiciones de campo<sup>1)</sup>.

| Tratamiento        | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Total  |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------|
| <b>Unicultivo:</b> |                    |                     |                     |        |
| -M                 | 111.3 a            | 1195.1 ab           | 576.0 b             | 1882.3 |
| +M                 | 130.9 a            | 1751.2 a            | 964.3 a             | 2846.4 |
| <b>Asociación:</b> |                    |                     |                     |        |
| -M                 | 73.6 b             | 645.7 b             | 507.5 b             | 1226.8 |
| +M                 | 67.8 b             | 715.3 b             | 519.5 b             | 1302.6 |

### Resultados del análisis de variancia

|                        | Raíz   | Tallo | Hojas |
|------------------------|--------|-------|-------|
|                        | Pr > F |       |       |
| Micorriza (M)          | 0.727  | 0.073 | 0.041 |
| Sistema de cultivo (S) | 0.029  | 0.028 | 0.017 |
| Int. M x S             | 0.527  | 0.126 | 0.029 |
| Bloques                | 0.135  | 0.114 | 0.042 |

1) Muestreo a 105 días de la siembra.

2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

Cuando las plantas de maíz fueron sembradas en asociación con el frijol y en ausencia de micorriza, tuvieron la más baja producción de materia seca. Al ser inoculadas con el hongo mostraron incrementos ligeros en la biomasa de tallos y hojas, respecto a lo observado en las plantas asociadas y sin micorriza, pero las diferencias no fueron significativas (Cuadro 1).

La mayor producción de materia seca en el cultivo del frijol fue obtenida al sembrarlo como unicultivo y en presencia de hongos micorrizicos V-A (Cuadro 2). Bajo estas condiciones la biomasa de tallos, hojas y vainas fue más alta que la observada donde no hubo micorriza. La materia seca de las plantas cultivadas en asociación con el maíz fue significativamente menor que en los tratamientos anteriores, particularmente en las parcelas donde no se realizó inoculación.

La endomicorriza tendió a estimular la acumulación de biomasa en los tallos y vainas de las plantas asociadas con el maíz, pero los valores resultaron estadísticamente iguales a los observados donde no fueron aplicados los hongos.

En ausencia de micorriza la cantidad de materia seca producida por el maíz sembrado solo fue similar a la de la asociación maíz-frijol, mientras que el frijol bajo unicultivo produjo menos biomasa. Por el contrario, al

Cuadro 2. Efecto de la endomicorriza V-A sobre la producción de materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de frijol sembrado solo o en asociación con maíz en condiciones de campo.

| Tratamiento | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Vainas <sup>2)</sup> | Total  |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Unicultivo: |                    |                     |                     |                      |        |
| -M          | 97.3 a             | 311.5 b             | 425.4 b             | 234.5 b              | 1068.7 |
| +M          | 112.3 a            | 623.1 a             | 754.9 a             | 950.9 a              | 2441.1 |
| Asociación: |                    |                     |                     |                      |        |
| -M          | 34.3 b             | 131.9 c             | 252.3 c             | 143.5 b              | 561.0  |
| +M          | 28.9 b             | 150.7 c             | 256.5 c             | 236.8 b              | 672.9  |

Resultados del análisis de varianza

|                        | Raíz   | Tallo | Hojas | Vainas |
|------------------------|--------|-------|-------|--------|
|                        | Pr > F |       |       |        |
| Micorriza (M)          | 0.602  | 0.055 | 0.012 | 0.014  |
| Sistema de cultivo (S) | 0.001  | 0.001 | 0.001 | 0.015  |
| Int. M x S             | 0.261  | 0.021 | 0.010 | 0.042  |
| Bloques                | 0.288  | 0.290 | 0.100 | 0.189  |

1) Muestreo a 105 días de la siembra.

2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

inducir la micorrización el incremento debido al efecto fúngico fue más notorio en el frijol sembrado solo, y el rendimiento de materia seca en ambas especies fue mayor que en el sistema asociado (Cuadro 3).

### Contenido de Nitrógeno.

La cantidad de nitrógeno absorbida por el cultivo de maíz, a 105 días de la siembra, fue más alta cuando fue sembrado en unicultivo que al sembrarlo en asociación con frijol. En todos los casos, con excepción de las raíces, la actividad fúngica determinó incrementos en la absorción de ese elemento, pero sólo en los tallos se observó efecto significativo de la inoculación. En todas las variables, los incrementos debidos a la micorriza fueron mayores bajo el unicultivo (Cuadro 4).

El sistema de cultivo afectó considerablemente la cantidad de nitrógeno captada en el frijol (Cuadro 5). El contenido de este elemento en las raíces, tallos, hojas y vainas de las plantas pertenecientes al unicultivo fue más del doble de lo observado en las plantas asociadas con el maíz. La micorriza tendió a incrementar la acumulación de nitrógeno en todos los componentes y la magnitud de este aumento fue mayor en el cultivo solo, pero las diferencias respecto a las plantas no inoculadas fueron significativas únicamente en las vainas.

La cantidad total de nitrógeno acumulado en la biomasa de las plantas de frijol sembrado solo y sin micorriza fue similar al rendimiento total de ese elemento observado en la asociación maíz-frijol sin micorriza (Cuadro 3); por el contrario, el maíz sembrado

Cuadro 3. Rendimiento total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de materia seca, nitrógeno y fósforo por sistemas de producción de maíz y frijol con y sin inoculación con hongos endomicorrizicos V-A<sup>1)</sup>.

| Sistema de cultivo      | Materia seca |        | Nitrógeno |        | Fósforo |       |
|-------------------------|--------------|--------|-----------|--------|---------|-------|
|                         | -M           | +M     | -M        | +M     | -M      | +M    |
| Maíz solo               | 1882.3       | 2846.4 | 43.167    | 69.712 | 2.931   | 5.259 |
| Frijol solo             | 1068.7       | 2441.1 | 55.910    | 77.229 | 3.221   | 7.609 |
| Maíz y frijol asociados | 1792.8       | 1973.5 | 54.988    | 79.102 | 3.549   | 4.532 |

1) Muestreo a 105 días de la siembra.

Cuadro 4. Efecto de la endomicorriza V-A sobre la cantidad de nitrógeno absorbida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en condiciones de campo por plantas de maíz sembradas en unicultivo o en asociación con frijol<sup>1)</sup>

| Tratamiento        | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Total  |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------|
| <b>Unicultivo:</b> |                    |                     |                     |        |
| -M                 | 1.735 ab           | 26.970 b            | 14.461 a            | 43.167 |
| +M                 | 2.144 a            | 47.740 a            | 19.819 a            | 69.712 |
| <b>Asociación:</b> |                    |                     |                     |        |
| -M                 | 1.520 ab           | 23.029 b            | 12.819 a            | 36.368 |
| +M                 | 0.933 b            | 37.423 a            | 13.326 a            | 51.682 |

Resultados del análisis de varianza

|                        | Raíz   | Tallo | Hojas |
|------------------------|--------|-------|-------|
|                        | Pr > F |       |       |
| Micorriza (M)          | 0.706  | 0.032 | 0.267 |
| Sistema de cultivo (S) | 0.037  | 0.024 | 0.295 |
| Int. M x S             | 0.122  | 0.044 | 0.205 |
| Bloques                | 0.037  | 0.007 | 0.055 |

- 1) Muestreo a 105 días de la siembra.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

Cuadro 5. Efecto de la endomicorriza V-A sobre el rendimiento de nitrógeno ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de plantas de frijol sembradas en unicultivo o en asociación con maíz en condiciones de campo<sup>1)</sup>

| Tratamiento        | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Vainas <sup>2)</sup> | Total  |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------|
| <b>Unicultivo:</b> |                    |                     |                     |                      |        |
| -M                 | 2.112a             | 13.306a             | 20.146a             | 11.346b              | 55.910 |
| +M                 | 2.399a             | 16.872a             | 32.362a             | 25.506a              | 77.229 |
| <b>Asociación:</b> |                    |                     |                     |                      |        |
| -M                 | 0.633b             | 4.225b              | 8.530b              | 5.232b               | 18.620 |
| +M                 | 0.506b             | 6.870b              | 14.590b             | 5.443b               | 27.420 |

Resultados del análisis de varianza

|                        | Raíz   | Tallo | Hojas | Vainas |
|------------------------|--------|-------|-------|--------|
|                        | Pr > F |       |       |        |
| Micorriza (M)          | 0.065  | 0.900 | 0.718 | 0.014  |
| Sistema de cultivo (S) | 0.001  | 0.026 | 0.000 | 0.015  |
| Int. M x S             | 0.287  | 0.408 | 0.257 | 0.042  |
| Bloques                | 0.207  | 0.530 | 0.244 | 0.189  |

- 1) Muestreo a 105 días de la siembra.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

en unicultivo y sin inoculación mostró un valor más bajo. Con la micorrización la cantidad total de nitrógeno absorbida se incrementó independientemente del sistema de cultivo y las especies involucradas, pero el valor medio más bajo volvió a corresponder al unicultivo de maíz.

Contenido de Fósforo.

La absorción de fósforo por las plantas de maíz fue incrementada por la acción de los hongos endomicorrizicos. Los valores más altos en cada sistema de cultivo correspondieron a las parcelas micorrizadas, pero sólo en los tallos y hojas de las plantas bajo unicultivo hubo efecto significativo de la inoculación (Cuadro 6). Sólo en el contenido de fósforo en las raíces se observaron variaciones debidas al sistema de cultivo; en este caso los mayores niveles del elemento correspondieron a las plantas en unicultivo.

Cuadro 6. Efecto de la endomicorriza V-A sobre la cantidad de fósforo absorbida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en condiciones de campo por plantas de maíz sembradas en unicultivo o en asociación con frijol<sup>1)</sup>

| Tratamiento        | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Total |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------|
| <b>Unicultivo:</b> |                    |                     |                     |       |
| -M                 | 0.077 ab           | 1.641 b             | 1.213 b             | 2.931 |
| +M                 | 0.097 a            | 3.100 a             | 2.062 a             | 5.259 |
| <b>Asociación:</b> |                    |                     |                     |       |
| -M                 | 0.067 b            | 1.160 b             | 1.203 b             | 2.420 |
| +M                 | 0.061 ab           | 1.767 b             | 1.222 b             | 3.050 |

Resultados del análisis de varianza

|                        | Raíz   | Tallo | Hojas |
|------------------------|--------|-------|-------|
|                        | Pr > F |       |       |
| Micorriza (M)          | 0.208  | 0.027 | 0.030 |
| Sistema de cultivo (S) | 0.043  | 0.110 | 0.137 |
| Int. M x S             | 0.534  | 0.026 | 0.035 |
| Bloques                | 0.014  | 0.046 | 0.016 |

- 1) Muestreo a 105 días de la siembra.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

El contenido de fósforo en las plantas de frijol se mostró más sensitivo al sistema de cultivo y a la inoculación que en las plantas

de maíz (Cuadro 7). En todos los componentes evaluados se detectó efecto interactivo de ambos factores. Las plantas sembradas en unicultivo tuvieron más del doble de fósforo que las sembradas en asociación con maíz, no obstante que la presencia de micorriza tendió a estimular la acumulación de ese elemento en tallos, hojas y vainas de las plantas asociadas, la magnitud de este estímulo fue significativamente mayor en las plantas sembradas en unicultivo, las cuales tuvieron los mayores contenidos de fósforo.

La cantidad total de fósforo absorbida por las plantas de frijol no micorrizadas fue similar a la observada en la asociación maíz-frijol en ausencia de micorriza (Cuadro 3). El maíz, sembrado en unicultivo y sin inoculación, mostró, al igual que en el caso del nitrógeno, el valor más bajo. En las parcelas inoculadas con el hongo la cantidad total de nitrógeno absorbida se incrementó independientemente del sistema de cultivo, pero el valor medio más bajo correspondió en este caso a la asociación, mientras que el unicultivo de frijol tuvo el valor más alto.

Cuadro 7. Efecto de la endomicorriza V-A sobre la cantidad de fósforo absorbida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en condiciones de campo por plantas de frijol sembradas en unicultivo o en asociación con maíz<sup>1)</sup>.

| Tratamiento | Raíz <sup>2)</sup> | Tallo <sup>2)</sup> | Hojas <sup>2)</sup> | Vainas <sup>2)</sup> | Total |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------|
| Unicultivo: |                    |                     |                     |                      |       |
| -M          | 0.136b             | 1.006b              | 1.046b              | 1.033b               | 3.221 |
| +M          | 0.244a             | 1.805a              | 2.326a              | 3.234a               | 7.609 |
| Asociación: |                    |                     |                     |                      |       |
| -M          | 0.043a             | 0.215c              | 0.461b              | 0.410c               | 1.129 |
| +M          | 0.038a             | 0.452c              | 0.490b              | 0.493c               | 1.482 |

Resultados del análisis de varianza

|                        | Raíz   | Tallo  | Hojas  | Vainas |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                        | Pr > F |        |        |        |
| Micorriza (M)          | 0.010  | 0.083  | 0.006  | 0.024  |
| Sistema de cultivo (S) | 0.0001 | 0.0004 | 0.0001 | 0.003  |
| Int. M x S             | 0.006  | 0.026  | 0.009  | 0.033  |
| Bloques                | 0.312  | 0.686  | 0.506  | 0.314  |

1) Muestreo a 105 días de la siembra.

2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

### Colonización Micorrízica.

El frijol se mostró más susceptible a la micorrización que el maíz (Cuadro 8). El porcentaje de longitud de raíz micorrizada de las plantas de frijol disminuyó cuando esta especie fue asociada con el maíz. Por el contrario, el maíz mostró un ligero aumento en su nivel de colonización cuando fue sembrado conjuntamente con el frijol.

Los niveles de colonización micorrízica observados en las parcelas no inoculadas fueron muy bajos, por lo que podemos afirmar que para fines prácticos, la formación de micorriza por contaminación no tuvo efectos sobre el desarrollo de las plantas.

Cuadro 8. Porcentaje de longitud de raíz colonizada de maíz y frijol sembrados solos o en asociación bajo condiciones de campo<sup>1)</sup>.

| Tratamiento | Maíz | Frijol |
|-------------|------|--------|
| Unicultivo: |      |        |
| -M          | 2.0  | 1.7    |
| +M          | 40.7 | 81.8   |
| Asociación: |      |        |
| -M          | 2.4  | 0.9    |
| +M          | 52.3 | 56.9   |

1) Muestreo a 105 días de la siembra.

### DISCUSION

El maíz y el frijol produjeron más biomasa en unicultivo que en el sistema asociado. Este cambio parece ser debido primariamente al fenómeno de competencia entre plantas por luz, agua y nutrimentos. No obstante que la micorriza incrementó la producción de materia seca en la asociación, produjo mayor efecto cuando fue sembrada sólo una especie. En otros trabajos también se ha reportado que si la competencia se da entre plantas micorrizadas de la misma especie, la disminución del crecimiento puede ser menor que al interaccionar dos especies distintas (Fitter, 1977; Crowell y Boerner, 1988).

En este trabajo, el frijol sembrado en unicultivo tuvo mayor porcentaje de incremento en la producción de materia seca, debido a la micorriza, que el maíz solo o la asociación maíz-frijol. En todos estos casos la producción de biomasa fue superior a la

observada en las parcelas no inoculadas, pero el contraste entre el unicultivo de maíz y la asociación fue mayor en presencia de micorriza.

Los niveles de colonización observados en las plantas micorrizadas muestran que la cantidad de inóculo aplicada a cada mata al momento de la siembra, fue suficiente para permitir una colonización funcional durante el curso del experimento; sin embargo, no fue posible saber si la cantidad de propágulos necesaria para un crecimiento óptimo en el unicultivo es igual a la requerida por la asociación para el mismo propósito.

Dado que la densidad de plantas en las parcelas de frijol bajo unicultivo fue más alta que en el resto de tratamientos, la cantidad total de inóculo aplicada fue también mayor, lo cual puede explicar, en parte, la mayor colonización e incremento de la producción de biomasa en esa especie bajo tales condiciones. En el maíz asociado con el frijol se observó un ligero incremento en el nivel de micorrización respecto al unicultivo, pero en el caso de la leguminosa el valor disminuyó hasta un nivel similar al de la graminea, lo cual pudo ser causado por la mayor habilidad del maíz para utilizar el inóculo micorrizico disponible en el suelo, debido a su mayor densidad radical. Barea *et al.* (1989) reportaron también que plantas de *Lolium perenne* aumentaron su nivel de micorrización al asociarse con *Medicago sativa* pero, a diferencia del presente trabajo, no detectaron cambios significativos en la leguminosa.

En un trabajo realizado por Guzmán-Plazola *et al.* (1992) en un suelo más profundo utilizando niveles homogéneos de inóculo, aplicados a los mismos genotipos de planta, el maíz se mostró más susceptible a la colonización que el frijol, independientemente de si fue inoculado directamente o si recibió micelio procedente de la leguminosa. Es evidente entonces que, además del tipo de especies asociadas (Fitter, 1977; Ocampo *et al.*, 1980), el nivel de inóculo aplicado y las condiciones en que se desarrolle el cultivo, determinan la cantidad de micorrización y el efecto de la asociación sobre la formación de micorriza, lo cual a su vez influye en la producción de biomasa.

Es posible que, en adición a los fenómenos de competencia por luz, agua, nutrimentos y al

efecto modificador de la asociación sobre la severidad de plagas y enfermedades (Krishnamurthy, 1984), el potencial del inóculo micorrizico presente en el suelo, al afectar diferencialmente la producción de biomasa de acuerdo con el sistema de cultivo, sea un factor determinante en la magnitud de sub o sobreproducción observables en experimentos con cultivos múltiples.

No obstante la mayor colonización micorrizica observada en el frijol, el maíz mostró mayor habilidad competitiva, ya que el porcentaje de disminución en la producción de biomasa debido a la asociación, fue menor en este último, particularmente cuando estuvo presente la micorriza. Fitter (1977), en un trabajo similar realizado bajo condiciones de invernadero, observó un comportamiento semejante al comparar plantas de *Lolium perenne* y *Molcus lanatus*; en este caso la micorriza mejoró la habilidad competitiva de *Lolium perenne*. Barea *et al.* (1989) observaron que la micorriza tendió a mejorar la producción de materia seca y la habilidad competitiva de plantas de alfalfa asociadas con *Lolium perenne*, pero conforme se incrementó el nivel de fósforo, el desarrollo de la alfalfa se redujo en presencia del pasto.

En el presente trabajo los aumentos en el crecimiento, debidos a la micorriza, estuvieron asociados con un mayor contenido de fósforo y nitrógeno en las diferentes partes de las plantas, lo cual es consistente con lo reportado por otros investigadores (Aguirre, 1985; Gerdemann 1964, Guzmán-Plazola *et al.*, 1992; Jensen, 1984; Khan, 1972; Sanni, 1976), sin embargo, en el caso del fósforo, la magnitud de los incrementos debidos a la actividad fúngica fueron considerablemente mayores cuando cada especie fue sembrada en unicultivo. Por el contrario, el rendimiento de nitrógeno total en la asociación fue similar al observado en el frijol bajo unicultivo, pero en presencia de micorriza el valor más alto correspondió al sistema asociado; sin embargo, dada la magnitud de este incremento, no fue posible obtener evidencia de algún estímulo a la fijación biológica de N<sub>2</sub>, producto de la asociación, similar al reportado por Boucher (1979), pero sí fue notoria la influencia de la micorrización en la mayor captación de este elemento, independientemente del sistema de cultivo, lo cual es consistente con lo reportado por otros investigadores (Barea *et al.*, 1987).

A diferencia de lo observado en un experimento simultáneo realizado bajo condiciones similares (Guzmán-Plazola *et al.*, 1992), en el presente ensayo la formación de un sistema micorrizico común entre el maíz y el frijol no mejoró significativamente la producción de materia seca ni la absorción de nutrientes a 105 días de la siembra. Tal variación pudo ser debido a la posible insuficiencia de inóculo micorrizico y al efecto de competencia entre plantas en proceso de desarrollo. En el primer experimento no hubo competencia radical entre plantas, por lo que cada especie tuvo la posibilidad de explorar un volumen de suelo similar. Posiblemente la naturaleza de las interacciones en el sistema asociado habrían cambiado o se habrían hecho más evidentes, si el experimento hubiese sido conducido hasta la cosecha (50 días más). Otros investigadores han reportado que la cantidad de nitrógeno transferida de una leguminosa a una gramínea puede variar en función del tiempo de asociación (Burity *et al.*, 1989).

La siembra adyacente, al reducir la competencia en las primeras etapas de desarrollo de las plantas, puede ser más propicia para que ocurran interacciones radicales positivas en presencia de micorriza (Guzmán-Plazola *et al.*, 1992); sería entonces recomendable efectuar una nueva evaluación de los efectos fúngicos comparando el cultivo intercalado (surcos sembrados con frijol, alternados con otros sembrados con maíz) con el sistema asociado propiamente dicho.

#### LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Washington, D.C.
- AGUIRRE, M., J.F. 1985. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en frijol *Phaseolus vulgaris* al inocularse con micorriza vesicular-arbuscular (V-A) y dinámica de las estructuras del hongo. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- BAREA, J.M., C. AZCON-AGUILAR, y R. AZCON. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic  $N_2$  fixation and N uptake from soil as assessed with a  $^{15}N$  technique under field conditions. *New Phytologist* 10:717-725.
- BAREA, J.M., F. EL-ATRACH, y R. AZCON. 1989. Mycorrhiza and phosphate interactions as affecting plant development,  $N_2$ -fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume-grass mixtures by using a  $^{15}N$  dilution technique. *Soil Biol. Biochem.* 21: 581-589.
- BOUCHER, D.H. 1979. La nodulación del frijol en el policultivo: El efecto de la distancia entre plantas de frijol y maíz. *Agricultura Tropical* 1: 276-283.
- BURITY, H.A., T.C. TA, M.A. FARIS y B.E. COULMAN. 1989. Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses in mixed swards under field conditions. *Plant and Soil* 114: 249-255.
- BREMMER, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. In: C.A. Black (ed). *Methods of soil analysis*. Parte 2. Agronomy American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- CROWELL, H.F. y R.E.J. BOERNER. 1988. Influences of mycorrhisae and phosphorus on belowground competition between two old-field annuals. *Environmental and experimental Botany* 28: 381-392.
- FITTER, A.H. 1977. Influence of mycorrhizal infection on competition for phosphorus and potassium by two grasses. *New Phytologist* 79: 119-125.
- GERDEMANN, J.W. 1964. The effect of mycorrhiza on the growth of maize. *Mycologia* 56: 342-349.
- GIOVANETTI, M. y B. MOSSE. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- GUZMAN-PLAZOLA, R.A., R. FERRERA-CERRATO y G. BETHLENFALVAY. 1992. Papel de la endomicorriza V-A en la transferencia de exudados radicales entre frijol y maíz sembrados en asociación bajo condiciones de campo. *Revista TERRA* 10: 236-248.
- JENSEN, A. 1984. Response of barley, pea, and maize to inoculation with different vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in irradiated soil. *Plant and Soil* 78: 315-323.
- KHAN, A.G. 1972. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations on growth of cereals. I. Effects on maize growth. *New Phytologist* 71: 613-619.
- KRISHNAMURTY, L. (Dir.). 1984. Análisis de la estructura, función, dinámica y manejo del agroecosistema de cultivos asociados. Informe técnico del proyecto PCAFBNA-001404 para CONACYT. Universidad Autónoma Chapingo, México. 400 p.
- MIRANDA, C.S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). *Agrociencia* 1: 99-109.
- OCAMPO, J.A., J. MARTIN y D.S. HAYMAN. 1980. Influence of plant interactions on vesicular-arbuscular mycorrhizal infections. I. Host and non-host plants grown together. *New Phytologist* 84: 27-35.
- PHILLIPS, J.B. y D.S. HAYMAN. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-160.
- REYES S., M.G. y R. FERRERA-CERRATO. 1987. Relación huésped simbiote en *Phaseolus vulgaris* L. inoculado con hongos micorrizicos. p. 170. In: *Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Zacatecas, Zacatecas, México.
- SANNI, S.O. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some Nigerian soils and their effect on the growth of cowpea (*Vigna unguiculata*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and maize (*Zea mays*). *New Phytologist* 77: 667-671.
- VAN KESSEL, C., P.W. SINGLETON y H.J. HOBEN. 1985. Enhanced N-transfer from a soybean to maize by vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. *Plant Physiology* 79: 562-563.