



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"IZTACALA"

"MANEJO DE LA ENDOMICORRIZA VESICULO-  
ARBUSCULAR EN LA PRODUCCION DE FRUTALES  
PERENIFOLIOS (Carica papaya, CVS CERA Y SOLO)  
CULTIVADOS EN VIVERO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**B I O L O G O**

P R E S E N T A :

DAVID JAEN CONTRERAS

MEXICO, D. F.

AGOSTO DE 1987



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.

ESTA TESIS FUE REALIZADA EN LA SECCION DE MICROBIOLOGIA  
DEL CENTRO DE EDAFOLOGIA DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
BAJO LA DIRECCION DEL DR. RONALD FERRERA-CERRATO  
Y LA ASESERIA DEL M.C. JOSE ANTONIO SANTIZO RINCON.

AGOSTO, 1987

## AGRADECIMIENTOS

A Santa María de Guadalupe por su amor maternal y por ser fuente radiante de pureza, humildad, perdón, luz y sabiduría. ¡Gloria y Alabanza a tí!

A la Comunidad Carismática de Renovación en el Espíritu Santo "EMMANUEL" por su afán en ser instrumento de conversión espiritual.

Deseo expresar mi mayor gratitud al Dr. Ronald Ferrera-Cerrato quien con su incalculable sabiduría y experiencia, hizo posible la elaboración del presente estudio; y precisamente por estos atributos y su don de persona está creando y capacitando recursos humanos de alta calidad tan necesarios para el país, y su labor trasciende más allá de nuestras fronteras, por lo cual a nombre de mi país, México, y de los países latinoamericanos reciba este reconocimiento que no tiene nada de demagogia, pero sí mucho respeto, cariño y admiración a su excelente persona. ¡Gracias Doctor Ferrera!

Asimismo, hago patente mi agradecimiento al M. en C. José Antonio Santizo Rincón su apreciable colaboración y por haber aceptado tan gentilmente asesorar la presente tesis.

Agradezco al Dr. Edwald Sieverding todas las enseñanzas y sugerencias que tuvo a bien indicarme.

Mi profundo agradecimiento a todas y cada una de las personas que estudian y/o laboran en la Sección de Microbiología del Colegio de Postgraduados por las atenciones y ayuda que inmerecidamente me han brindado: M. en C. Eduardo López, M. en C. Abdúl Kallil Gardezi, M. en C. Judith Espinosa, Biól. David Espinosa, Biól. Concepción Siguenza, Ing. Remigio Guzmán, Ing. Salvador Rubio, Ing. Roberto Quintero, Ing. Pablo Orozco, Ing. Jaime Ramírez,

Srita. Rosario Galicia, Sr. Manuel Solano, Sr. Martín Godínez, Sr. Lorenzo Viana; y de una forma especial al Ing. Juan José Almaraz e Ing. Guadalupe Reyes por la valiosísima ayuda que amablemente me proporcionaron.

Es para mí un honor hacer patente mi agradecimiento al QFB Nieves Rodríguez Mendoza por su amistad, comprensión, consejos, apoyo y exigencias para la finalización satisfactoria de esta investigación.

De manera muy especial quiero agradecer al QFB María del Carmen González Chavez su cariño, ternura y exigencias para presentar un trabajo de investigación de alta calidad. Sinceramente, ¡gracias por todo lo que me has ayudado y por los difíciles y bellos momentos que juntos hemos disfrutado!

No tengo palabras para expresar mi gratitud y reconocimiento al Biól. Víctor Lara por su participación, dedicación, preocupación y entusiasmo en todas las fases de trabajo de esta investigación. ¡ Muchas gracias Víctor !

Mi agradecimiento a la Sra. Rita Benites Huerta por la redacción del presente trabajo de tesis.

Un reconocimiento afectuoso a todos mis amigos que siempre tuvieron una palabra de aliento y una sonrisa a cada momento para mi persona.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma de Chapingo y al Colegio de Postgraduados por las becas y ayudas económicas que he recibido. ¡ Gracias !

Al Colegio de Postgraduados que es una Institución de alto nivel académico, técnico y científico por permitir la realización de esta investigación y por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en su prestigiada comunidad. ¡ Mil gracias !

## DEDICATORIA

A mi querida madre que con su amor, abnegación y carácter ha logrado inculcarme un espíritu de lucha y superación en todos los aspectos que la vida exige.

A mi padre, en recuerdo de gratitud y afecto por la valentía con que siempre enfrentó la adversidad.

A mis hermanos por su apoyo y por afrontar dignamente con gran responsabilidad las exigencias que el vivir implica y por los momentos de angustia y tristeza, pero también de amor y alegría que juntos hemos vivido intensamente.

A Salvador por empeñarse en ser el líder de su empresa y por transmitir tal virtud a todos los que le rodean.

A mis sobrinos por saber valorar la responsabilidad que el vivir implica y por transmitir dulzura y amor a toda la familia.

A Carmen por ser fuente radiante de ternura, amor y derroche sin límites de gracia y sencillas.

A mis profesores que tan acertadamente me inculcaron las bases de un estudio útil y productivo.

Al Señor de Señores.  
Al único que hace maravillas.  
Al que mueve montañas y trasciende  
más allá de nuestro conocimiento.  
Al que hizo los cielos con entendimiento.  
Al que extendió la tierra sobre las aguas.  
Al que hizo grandes lumbreras.  
El sol para que señorease en el día,  
la luna y las estrellas para que  
señoreasen la noche;  
porque Tú formaste mis entrañas  
i Te alabaré, porque formidables  
maravillas son tus obras i

Tú, en cambio, persevera en lo que aprendiste  
y en lo que creíste, teniendo presente de  
quiénes lo aprendiste, y que desde niño conoces  
las Sagradas Letras, que pueden darte la  
sabiduría que lleva a la salvación mediante  
la fé en Cristo Jesús. Toda escritura  
es inspirada por Dios y útil para enseñar,  
para arguir, para corregir y para educar en  
la justicia; así el hombre de Dios se  
encuentra perfecto y preparado para toda  
obra buena.

#### SAN PABLO

(Segunda Epístola a Timoteo 3: 14-17).

i Jesús María os amo, salvad almas i

## CONTENIDO

|   | Página |
|---|--------|
| INDICE DE CUADROS -----   | i      |
| INDICE DE FIGURAS -----   | iv     |
| RESUMEN -----   | viii   |
| I. INTRODUCCION -----   | 1      |
| II. OBJETIVOS E HIPOTESIS -----   | 7      |
| III. ANTECEDENTES -----   | 9      |
| 3.1. Endomicorriza vesículo-arbuscular -----  | 9      |
| 3.1.1. Tipos de micorriza -----   | 10     |
| 3.1.2. Taxonomía de la endomicorriza vesículo-<br>arbuscular (V-A) -----                                | 14     |
| 3.1.3. Estructuras típicas de la endomicorriza<br>(V-A) -----   | 26     |
| 3.1.4. Morfología y anatomía de la colonización<br>endomicorrízica -----                                | 29     |
| 3.1.5. Fisiología de la endomicorriza V-A -----   | 33     |
| 3.1.6. Factores que afectan la eficiencia de<br>las endomicorrizas V-A -----                            | 39     |
| 3.1.7. Respuesta de los frutales a las endomicro-<br>rrizas V-A -----                                   | 46     |
| 3.1.8. Empleo de la endomicorriza V-A a nivel<br>de vivero -----  | 58     |
| IV. MATERIALES Y METODOS -----  | 64     |
| FASE 1. Aislamiento, propagación, identificación<br>y evaluación de cepas de endomicorriza<br>V-A ----- | 64     |

|   | Página |
|---|--------|
| FASE 2. Susceptibilidad de <i>Carica papaya</i> cvs. cera y solo a la inoculación endomicorrízica -----   | 68     |
| - Procedencia, selección y tratamiento de las semillas -----  | 68     |
| - Suelo preparación de macetas, trasplante e inoculación -----  | 69     |
| - Descripción de tratamientos y diseño experimental -----   | 70     |
| - Evaluación de variables y análisis estadístico -----  | 70     |
| <br>  |        |
| FASE 3. Efecto de la inoculación de <i>Glomus</i> sp. Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el desarrollo de plantas de papaya variedad cera ----- | 72     |
| - Siembra de la semilla -----   | 72     |
| - Suelo y preparación de macetas -----  | 73     |
| - Trasplante, inoculación y fertilización -----   | 73     |
| - Descripción de tratamientos -----   | 74     |
| - Instalación del experimento -----   | 74     |
| - Evaluación de variables y análisis estadístico -----  | 76     |
| <br>  |        |
| FASE 4. Dinámica de aparición de estructuras de endomicorriza en <i>Carica papaya</i> cultivar cera -----   | 76     |
| - Trasplante, fertilización e inoculación -----   | 76     |
| - Descripción de tratamiento y diseño experimental -----  | 77     |
| - Evaluación de variables -----   | 77     |

|   | Página |
|---|--------|
| V. RESULTADOS -----   | 78     |
| I. Susceptibilidad de <i>Carica papaya</i> cultivar<br>cera y solo a la inoculación endomicorrí-<br>zica -----                      | 78     |
| II. Efecto de la inoculación de <i>Glomus sp.</i><br>Zac-19 y de la fertilización NPK en plan-<br>tas de papaya cultivar cera ----- | 106    |
| III. Dinámica de aparición de estructuras de<br>endomicorríza en <i>Carica papaya</i> cultivar<br>cera -----                        | 135    |
| VI. DISCUSION -----   | 142    |
| VII. CONCLUSIONES -----   | 160    |
| VIII. BIBLIOGRAFIA -----  | 163    |
| IX. APENDICE -----  | 185    |

## INDICE DE CUADROS

| CUADRO |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Relación de tratamientos ensayados en <i>Carica papaya</i> cultivar cera y solo.  | 71     |
| 2      | Relación de tratamientos ensayados en <i>Carica papaya</i> cultivar cera y solo.  | 75     |
| 3      | Incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza. | 79     |
| 4      | Diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza.                    | 83     |
| 5      | Número de hojas en plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza.                       | 87     |
| 6      | Area foliar de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza.                           | 91     |
| 7      | Volumen radical de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza.                       | 95     |
| 8      | Peso seco total de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza.                       | 99     |
| 9      | Porcentaje de colonización micorrízico en plantas de papaya cultivar cera y solo.   | 103    |

| CUADRO | Página  |     |
|--------|---|-----|
| 10     | Número de esporas endomicorrízicas en plantas de papaya cultivar cera y solo.   | 107 |
| 11     | Incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.  | 110 |
| 12     | Diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                     | 113 |
| 13     | Número de hojas de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                        | 116 |
| 14     | Area foliar de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                            | 120 |
| 15     | Volumen radical de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                        | 123 |
| 16     | Peso seco total de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                        | 127 |
| 17     | Porcentaje de colonización micorrízico en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK. | 131 |
| 18     | Número de esporas producidas en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.           | 134 |

## CUADRO

Página

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 19 | Por ciento de colonización total y parcial de vesículas y arbuscúlos en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus</i> sp. Zac-19.                                     | 137 |
| 20 | Por ciento de colonización total y parcial de vesículas y arbuscúlos en plantas de papaya cultivar cera al inocularse con <i>Glomus</i> sp. Zac-19 y fertilizarse con 60 kg de P/ha. | 140 |

## INDICE DE FIGURAS

| FIGURA |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Esporas del género <i>Glomus</i> .  | 18     |
| 2      | Esporocarpos y clamidiosporas de <i>Sclerocystis</i> .                                  | 19     |
| 3      | Azigosporas de <i>Gigaspora</i> .   | 21     |
| 4      | Azigosporas de <i>Acaulospora</i> .   | 23     |
| 5      | Esporas de <i>Entrophosphora</i> .  | 24     |
| 6      | Mapa esquemático de los sitios de muestreo en el Estado de Zacatecas.                   | 65     |
| 7      | Morfología microscópica de una raíz micorrízada.  | 30     |
| 8      | Altura media en centímetros de planta de papaya cultivar cera de 90 días de edad        | 80     |
| 9      | Altura media en centímetros de plantas de papaya cultivar solo de 90 días de edad.      | 81     |
| 10     | Diámetro del tallo en milímetros de plantas de papaya cultivar cera de 90 días de edad. | 84     |
| 11     | Diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar solo.                                  | 85     |

| FIGURA |  | Página |
|--------|--|--------|
| 12     | Número de hojas de plantas de papaya cultivar cera.  | 88     |
| 13     | Número de hojas de plantas de papaya cultivar solo.  | 89     |
| 14     | Area foliar de plantas de papaya cultivar cera.  | 92     |
| 15     | Area foliar de plantas de papaya cultivar solo.  | 93     |
| 16     | Volumen radical en mililitros de plantas de papaya cultivar cera.  | 96     |
| 17     | Volumen radical en mililitros de plantas de papaya cultivar solo.  | 97     |
| 18     | Peso seco total en gramos de plantas de papaya cultivar cera.  | 100    |
| 19     | Peso seco total en gramos de plantas de papaya cultivar solo.  | 101    |
| 20     | Colonización micorrízica porcentual de vesículas, arbuscúlos y total en plantas de papaya cultivar cera. | 104    |
| 21     | Colonización micorrízica porcentual de vesículas, arbuscúlos y total en plantas de papaya cultivar solo. | 105    |
| 22     | Número de esporas de hongos endomicorrízicos en plantas de papaya cultivar cera.                         | 108    |

| FIGURA |  | Página |
|--------|--|--------|
| 23     | Número de esporas de hongos endomicorrízicos en plantas de papaya cultivar solo.   | 109    |
| 24     | Altura media en centímetros y en porcentaje de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK. | 112    |
| 25     | Diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                          | 115    |
| 26     | Número de hojas de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                             | 118    |
| 27     | Area foliar de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                                 | 121    |
| 28     | Volumen radical de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                             | 126    |
| 29     | Peso seco total de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> Zac-19 y fertilizadas con NPK.                             | 129    |
| 30     | Porcentaje de colonización micorrízico de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> y fertilizadas con NPK.             | 133    |
| 31     | Número de esporas micorrízicas en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con <i>Glomus sp.</i> y fertilizadas con NPK.                     | 136    |

FIGURA

Página

- |    |   |     |
|----|---|-----|
| 32 | Dinámica de la aparición de estructuras de <i>Glomus sp. Zac-19</i> en la raíz de <i>Carica papaya</i> cultivar cera.   | 138 |
| 33 | Dinámica de la aparición de estructuras de endomicorríza V-A en la raíz de <i>Carica papaya</i> cultivar cera inoculada con <i>Glomus sp. Zac-19</i> y fertilizada con NPK. | 141 |

## RESUMEN

Se estudio el efecto de la inoculación de 19 cepas de hongos endomicorrízicos en plantas de papaya cultivar cera y solo cultivadas en vivero. Se usaron bolsas de polietileno negras con 1 kg de suelo migajón arenoso, pH de 6.7 y 14.0 ppm de fósforo (Bray-1) previamente esterilizado con bromuro de metilo. Se inoculó con 660 esporas de endomicorriza + tres gramos de raíz colonizada (97%) por cada cepa de endomicorriza identificada, dejando una plántula por bolsa. El diseño experimental fue completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. La colonización radical de los hongos endomicorrízicos se evaluó según la técnica de Phillips y Hayman (1970), además se determinaron parámetros morfológicos y fisiológicos de la raíz y de la parte aérea de las plantas de papaya. Para las diferencias entre medias se utilizó la prueba de Tukey. Resultados: todos los tratamientos con micorriza tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas en cada una de las variables evaluadas. Se obtuvo un incremento de altura del orden de 360% por *Glomus sp. Zac-19* en el cultivar cera, 329% por *Glomus sp. Zac-6* en el cultivar solo. El diámetro de las plantas inoculadas fue de 10.5 mm con *Glomus sp. Zac-19* por 3.2 mm del testigo en el cultivar cera, siendo menor el diámetro estimulado por éstos hongos en el cultivar solo, donde el

mejor tratamiento fue con *Glomus sp.* Zac-6 (8.6 mm). Los pesos secos más altos fueron obtenidos en plantas micorrizadas con *Glomus sp.* Zac-19, siendo de 3.9 g en el cultivar cera y de 3.1 g para el cultivar solo. Los mejores índices porcentuales de colonización endomicorrízica fueron de 100% con *Glomus sp.* Zac-19 en el cultivar cera y de 95% por *Glomus sp.* Zac-6 en el cultivar solo. Las cepas de micorriza vesículo-arbúscular identificadas como *Glomus sp.* Zac-15, *Gigaspora sp.* Zac-17, *Glomus sp.* Zac-6 y *Glomus sp.* Zac-19 lograron incrementar significativamente todas las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas y fueron más agresivas para colonizar el sistema radical de *Carica papaya* que *Glomus fasciculatum*. Sin embargo, la cepa de endomicorriza más efectiva e infectiva en el cultivar cera fue *Glomus sp.* Zac-19 por lo cual fue empleada para comparar su efecto en relación a 3 niveles de fertilización NPK: nitrógeno (0, 15 y 30 kg N/ha), fósforo (0, 10 y 20 kg P/ha), y potasio (0, 5 y 10 kg K/ha) en plantas de papaya cultivar cera. Para este fin se emplearon bolsas de polietileno negras de 25 x 30 cm, con capacidad de 5 kilos de suelo. Las plántulas con diámetro de tallo de 1.0 a 2.0 mm., altura de 7 a 8 cm, y con 7 hojas bien diferenciadas fueron trasplantadas, dejando una por bolsa. La inoculación y la fertilización se realizó al momento del trasplante. Las plántulas fueron inoculadas con 10 g de suelo inóculo conteniendo 776 esporas + 3 gramos de raíz colonizada (100%). Con respecto a la fertili-

zación se emplearon como fuentes sulfato de amonio con 20.5% de N, superfosfato de calcio simple con 20% de  $P_2O_5$ , y cloruro de potasio con 60% de  $K_2O$ . El diseño experimental fue bloques al azar con 5 repeticiones. Se determinaron parámetros morfológicos y fisiológicos de la raíz y de la parte aérea de las plantas. Para las diferencias de medias se utilizó la prueba de Tukey. Resultados: las plantas fertilizadas con 30-10-0 kg/ha de fertilización NPK lograron el mayor incremento de altura (271.4%) entre los tratamientos fertilizados, mientras que las plantas del tratamiento 11 que fueron inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 alcanzaron hasta 264.2% de altura, siendo éstos dos tratamientos estadísticamente iguales. En general los tratamientos con micorriza más fertilizante incrementaron más la altura de las plantas que los tratamientos con fertilizante. Por otra parte, *Glomus sp.* Zac-19 estimuló el mayor grosor de tallo de las plantas que fue de 16.2 mm mientras que el tratamiento fertilizado con 15-10 kg/ha de NPK e inoculado con estos hongos, logró un diámetro de tallo de 15.5 mm, siendo estadísticamente iguales entre sí pero diferentes a todos los demás tratamientos. En cuanto a la biomasa producida, las plantas fertilizadas con 30-10-0 kg/ha de NPK lograron el mejor peso seco que fue de 6.0 g. El tratamiento que fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 produjo un peso seco de 5.3 g. Sin embargo, la prueba de comparación de medias de tratamiento indicó que son estadísticamente iguales.

Finalmente se evaluó la dinámica de aparición de estructuras de endomicorriza y el efecto del fertilizante fosfatado sobre ésta dinámica en plantas de papaya cultivar cera. Se observó que la colonización inicial es a los 10 días después de la inoculación. Los arbusculos se encontraron hasta los 14 días de establecido el experimento. La máxima frecuencia de arbusculos fue a los 43 días (82.3%), después de esta fecha se reducen teniéndose al final del experimento (64 días) un 38.8%. A los 20 días aparecieron las vesículas, siendo su máxima frecuencia a los 64 días (61.2%). La máxima colonización total fue a los 50 días (100%), manteniéndose constante este valor hasta el final del experimento. La adición de 60 kg de P/ha causó efectos negativos sobre la dinámica de colonización: los arbusculos se encontraron hasta los 20 días, siendo su máxima frecuencia a los 43 días (50%), reduciéndose después de esta fecha hasta un 35% al final del experimento. A los 29 días aparecieron las vesículas, ocurriendo su máxima frecuencia a los 57 días (27%), reduciéndose al final del experimento hasta 24%. La máxima colonización lograda (70%) fue a los 57 días, decayendo al final del experimento hasta 64.3%.

## 1. INTRODUCCION

Los huertos tropicales de papaya (*Carica papaya* L.) tienen gran importancia económica y social para el país, debido a su alto rendimiento, valor nutritivo y por ser uno de los pocos frutales de producción continua durante todo el año. Este frutal que es originario de América Central y México ha ido ganando aceptación recientemente en los mercados internacionales, incrementándose constantemente su consumo a nivel mundial. Según los datos de la FAO (1984), la producción mundial de papaya se incrementó de 1980 a 1984 de 1,204 hasta 1,400 millones de toneladas, en este último año el Continente Americano contribuyó con el 70.7% del total producido en el mundo, lo cual lo coloca como el principal continente productor de este frutal.

La papaya prospera en climas tropicales y subtropicales, encontrándose plantaciones comerciales en Africa del Sur, Tanganyka, Kenia, Australia, Malaya, Borneo, Ceylan, Indonesia, India, Florida, Hawaii, Puerto Rico, Brazil, Cuba, Venezuela y México (FAO, 1984).

En la República Mexicana, las principales entidades productoras de papaya se ubican en las zonas tropicales, sobresaliendo en orden decreciente de producción: Veracruz (6,050 ha), Guerrero (1,480 ha), Tabasco (1,100 ha), Colima (280 ha), Campeche (250 ha), Chiapas (240 ha) y Quintana Roo

(150 ha) (CONAFRUT, 1978). En 1984 se cultivaron 14,278 hectáreas con una producción total de 372 mil toneladas, lo cual le permitió reafirmarse como el segundo país productor a nivel mundial, siendo superado por Brazil (FAO, 1984). Las condiciones climáticas que prevalecen en éstos estados son ecológicamente aptas para el adecuado desarrollo de esta especie. Sin embargo, los suelos del trópico cálido-húmedo de México se caracterizan por su baja capacidad de intercambio catiónico, desaturación en cationes básicos - - ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ), alta acidez (pH de 4.5 a 5), alta concentración de  $\text{Fe}^{+++}$  y  $\text{Al}^{+++}$  intercambiables y una muy marcada deficiencia de fósforo soluble (Hardy, 1970), lo cual repercute sobre la productividad biológica y económica de las plantas de papaya desde su propagación hasta su establecimiento final. Otro de los factores que limitan su rendimiento son las plagas y enfermedades que son severas en los viveros y plantaciones comerciales. Como solución a esta problemática, CONAFRUT (1985) realizó una inversión de 537.6 millones de pesos para su combate e incrementar el uso de pesticidas con la finalidad de propagar plantas nutridas sanas que tengan una alta probabilidad de prendimiento y desarrollo aceptable al trasplantarlas a sitios permanentes y asegurar de esta forma la redituabilidad económica del cultivo. No obstante, las plantas propagadas en los viveros comerciales presentan problemas nutricionales, fitosanitarios, adaptativos y de manejo. Lo cual ha repercutido significativamente en su producción y se han acentuado en

la economía nacional con pérdidas de \$200.000.000 anuales. Los problemas principales son los causados por la virosis, enfermedades radicales y aplicaciones excesivas de productos químicos para fumigar y/o fertilizar (FAO, 1984).

En la producción de plantas frutícolas es práctica normal de los viveristas, la esterilización o fumigación del suelo en el vivero donde se siembran las semillas y da lugar a plántulas libres de hongos como: *Phytophthora*, *Pythium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Verticillium* y *Aspergillus*. Mediante esta actividad, si bien resulta efectiva la destrucción de los hongos patógenos, quedan eliminados de igual forma los hongos simbióticos de la micorriza vesículo-arbuscular (V-A) presentes en el suelo, ocasionando a las plantas un pobre desarrollo manifestado por clorosis, enanismo y una baja sobrevivencia. Para eliminar parcialmente estos síntomas, es necesario fertilizar con NPK. Los fertilizantes fosfatados, como el superfosfato triple (SFT) y el superfosfato simple (SFS), al ser aplicados a estos suelos, sufren una serie de reacciones, mediante las cuales el fósforo hidrosoluble que contienen pasa a formar compuestos de muy baja solubilidad, que limitan en gran parte su aprovechamiento y hacen ineficiente y costosa la aplicación de superfosfatos. Este fenómeno ocurre en los suelos ácidos tropicales al aplicar fertilizantes fosfatados, los cuales pasan rápidamente a formas férricas y alumínicas que no son tan aprovechables

por las plantas (Fassbender, 1982). Aparte de estas pérdidas de fosfatos, uno de los factores de manejo inadecuado más frecuente en los huertos de papaya es la fertilización, debido a que no se sabe cual es la fórmula y la cantidad adecuada que se debe aplicar, por esta razón se usan fórmulas de fertilizantes que son recomendadas en otros cultivos. De esta forma se incrementan los gastos de producción originando, por consecuencia, una disminución de la rentabilidad de los frutales producidos en vivero.

Esto ha originado que la investigación frutícola del cultivo se desarrolle en diferentes direcciones, tratando siempre de lograr aumentos en la producción por unidad de superficie. La mayor parte de los estudios realizados en México sobre plantas frutales creciendo en vivero, han sido dirigidos hacia la fertilización de las mismas, sin embargo, últimamente se han considerado otras posibilidades en la investigación del papayo, como es el caso del creciente interés en los recursos microbiológicos del suelo con los que se ha logrado una firme evidencia de su importante contribución al sistema suelo-planta, específicamente en el incremento en la absorción de elementos minerales del suelo por los hongos endomicorrícicos y su aprovechamiento por las plantas, especialmente en el caso del fósforo, porque se considera el nutrimento principal involucrado en esta simbiosis hongo-planta.

Considerando que los frutales son esenciales para la alimentación humana por su alto contenido de carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y grasas, es necesario estudiar y generar una tecnología del empleo y manejo de las endomicorrizas en plantas de papaya cultivadas en vivero. Estos hongos son vitales en la supervivencia y establecimiento de plantas trasplantadas al incrementar su nutrición mineral (especialmente de P, Cu, Zn, S, K, B y Ca), deprimen el crecimiento de patógenos fúngales y fitoparásitos radiculares e incrementan la absorción de agua.

Se han realizado pocos estudios de la respuesta de las plantas de papaya a la endomicorriza vesículo-arbuscular; pero de los que se han hecho se sabe que dicho frutal ha respondido en forma adecuada al ser inoculado con este tipo de hongos, aumentando su crecimiento, absorción de nutrimentos y resistencia al estrés por trasplante; pero hace falta estudiar el efecto de la inoculación de cepas de hongos endomicorrizicos nativos del país con el fin de saber su influencia sobre los frutales, en este caso en particular la papaya, y así poder aprovechar en forma óptima todos los beneficios que la endomicorriza es capaz de proporcionar cuando es aprovechada y manejada adecuadamente, especialmente a nivel de vivero, donde las endomicorrizas podrían acortar considerablemente el tiempo necesario para que las plantas salgan al huerto, lo que representaría ahorros económicos considerables.

Tomando en cuenta que la inoculación de hongos endomicorrízicos en plantas de importancia frutícola aporta beneficios considerables durante su desarrollo y ante la evidencia de la repercusión de la simbiosis hongo-planta en la nutrición de las mismas, se ha considerado de interés estudiar la asociación simbiótica endomicorriza vesículo-arbuscular-papaya de acuerdo a los siguientes objetivos.

## II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

### 2.1. Objetivos

1. Determinar la respuesta de la inoculación de 19 cepas de hongos endomicorrízicos vesículo-arbuscular (V-A) en algunas características morfológicas y fisiológicas de plantas de papaya (*Carica papaya* L. cultivares Cera y Solo).
2. Evaluar y comparar el efecto de la fertilización a diferentes niveles de nitrógeno (0, 15 y 30 kg/ha), fósforo (0, 10 y 20 kg/ha), y potasio (0, 5 y 10 kg/ha) en plantas de papaya en relación con el aporte de estos nutrimentos facilitados por los hongos endomicorrízicos.
3. Conocer la dinámica de aparición de las estructuras colonizantes de la endomicorriza V-A en simbiosis con plantas de papaya.

### 2.2. Hipotesis

1. Las plantas de papaya al ser inoculadas con los hongos endomicorrízicos responderán favorablemente, dando como resultado una mayor sobrevivencia, mejor nutrición mineral y porte de la planta, y menor tiempo de trasplante.

2. La eficiencia en la extracción y aportación de nitrógeno, fósforo y potasio por los hongos endomicorrízicos a las plantas de papaya, será similar o me jo r a la proporcionada por los niveles de fertilizaci ón NPK.
  
3. La dinámica de aparición y frecuencia de las estructuras colonizantes es determinado por la susceptibilidad de las plantas de papaya y la infectividad del hongo endomicorrízico.

### III. ANTECEDENTES

#### 3.1. Endomicorriza vesículo-arbuscular

El sistema radicular de las plantas superiores está asociado no solamente a un ambiente inanimado, compuesto de sustancias orgánicas e inorgánicas, sino también a una bata comunidad de microorganismos metabólicamente activos. En consecuencia, las interacciones en este sitio alcanzan gran importancia en la producción de los cultivos y fertilidad del suelo (Alexander, 1980). Una de las interacciones más relevantes en la naturaleza es la que se da entre la mayoría de las plantas existentes sobre la corteza terrestre con hongos especializados del suelo. En este tipo de asociación simbiótica denominada micorriza, los organismos se benefician mutuamente (Smith, 1980) y las raíces no muestran síntomas de daño aún cuando ellas son densamente colonizadas (Hayman, 1980).

La palabra "micorriza" proviene del griego (MYKES = hongo + RHIZA = raíz), que significa "raíz de hongo", y se emplea para designar a la relación mutualista que se establece entre las hifas de un hongo y los tejidos radicales de un gran número de plantas vasculares (MacDonel, 1962; Marks y Kozbowski, 1973; Spurr y Barnes, 1980), en las cuales no ocurre una desintegración destructiva y es una condición usual de las plantas hospederas en hábitats naturales

(Harley, 1968; Gerdeman, 1975; Bridge, 1980).

El conocimiento que se tiene sobre la existencia de esta asociación es muy remota, observándose en fósiles dejados en el suelo por rizomas de *Lycopodium* de unos 370 millones de años (Nicolson, 1975). Por otra parte, Pirozynski y Malloch (1975) argumentan que la evolución de las plantas terrestres a partir de organismos acuáticos requirió de una asociación simbiótica entre hongos y algas. De tal modo el hongo tuvo que ser hábil en la extracción de nutrientes del suelo mientras que las algas fotosintetizaban, "ninguno de los dos fue equipado para tener éxito por sí sólo en suelo virgen". El análisis del registro fósil hace suponer que el hongo estaba presente en las partes subterráneas de las primeras plantas terrestres (Butler, 1939).

### 3.1.1. Tipos de micorriza

En el reino Plantae encontramos diferentes tipos de micorriza con características morfológicas, fisiológicas e histológicas que los distinguen entre sí, además de los grupos de hongos y las plantas involucradas en esta simbiosis. Frank en 1885 distinguió dos tipos; micorriza ectótrofa y endótrofa. Posteriormente, Melin en 1923 introdujo los términos de micorriza ectoendotrófica y pseudomicorriza, debido a la confusión que causó esta terminología, Peyronel, *et al.* en 1969 propuso los términos, ectomicorriza, endomicorriza y ectoendomicorriza, posteriormente, Lewis en 1973 modifica el término ectomicorriza por el de "Sheating-

Micorriza" (Ectomicorriza = Micorriza en vaina) y divide la endomicorriza en: a) Vesículo arbuscular (V-A), b) Ericaceas y c) Orquidaceas.

Ectomicorriza. Los hongos que forman ectomicorriza pertenecen a la clase Basidiomicotina: setas, amanitas, lactarios, trufas, etc. Las especies de hongos ectomicorrízicos son extremadamente numerosas, del orden de cuatro a cinco mil. Muchos de estos hongos pueden ser cultivados en cultivo puro, aislados de su planta-huésped, pero no pueden formar carpóforos en su ausencia (Le Tacon, 1985). La ectomicorriza se caracteriza por tener un manto de hifas compactas alrededor de las raíces cortas, penetrando las hifas entre las células corticales formando lo que se conoce como Red de Hartig (Ferrera-Cerrato, 1983).

Endomicorriza ericaceas. La micorriza del tipo de las Ericaceas parece ser específica para el grupo de la familia Ericaceae, que tiene 70 géneros y aproximadamente 1,900 especies distribuidas en regiones de suelo ácido y clima templado (Lawrence, 1951), en esta familia la raíz termina en raicillas ramificadas muy finas que tienen la función de absorción y poseen un estele central rodeado de 1 a 3 capas de células corticales, estas estructuras son fuertemente invadidas por hifas muy finas, septadas, que en el interior de las células se presentan formando hifas enrolladas o masas

compactas de hifas apelotonadas que dan la impresión de llenar toda la célula hospedera, durante el crecimiento de estas raicillas el meristemo apical y la región de elongación permanecen libres de infección (Cook, 1977). Los hongos de este grupo de plantas se han logrado aislar en cultivos puros en el laboratorio provocando la infección cuando se inoculan en condiciones controladas (Read, 1977). Es probable que los hongos que se asocian con ésta familia, pertenezcan al grupo de los Ascomicetos (Gianinazii-Pearson y Gianinazzi, 1981).

Endomicorriza orquidaceas. En las Orquidaceas, los hongos que forman la endomicorriza pertenecen a grupos reconocidos como patógenos, tal es el caso de *Armillaria mellea*, *Rhizoctonia solani* y otros basidiomicetos que presentan fibras. El inicio de la infección es a nivel embrionario, invadiendo posteriormente a las células corticales, la forma de las hifas dentro de las células consiste en enrollamiento que causan ciertos hinchamientos y desorganización celular, produciéndose posteriormente la desintegración de las hifas. La infección queda restringida a las células corticales del sistema radical. La dependencia de las orquídeas por el hongo simbiote esta bien comprobado, habiéndose demostrado que en la ausencia del simbiote no se inicia la germinación (Harley, 1969).

Endomicorriza vesículo-arbuscular. Este tipo de micorriza es la más difundida en la naturaleza y es muy difícil encontrar plantas que no esten colonizadas con este tipo de hongos (Ferrera-Cerrato, 1983). La colonización producida por la micorriza V-A, sólo provoca pocos cambios en la morfología de las raíces. No hay manto en torno de la raíz. Sin embargo, hay dos redes miceliarias, una externa y otra interna. Sin embargo, hay dos redes miceliarias, una externa y otra interna. El micelio penetra en la raíz, donde inicialmente es intercelular. Seguidamente penetra en el interior de las células corticales y forma minúsculas arborescencias, muy ramificadas llamadas arbusculos que aseguran una gran superficie de contacto entre ambos asociados. Cuando el hongo penetra en el interior de las células, el huésped por reacción de defensa sintetiza en la interfase del arbusculo y la membrana celular unas fibras polisacáridas (Dexheimer, 1982). Los arbusculos tienen una vida efímera (de algunos días a algunas semanas) y terminan siempre por ser más o menos digeridos por el huésped. En el interior de la raíz también se encuentran vesículas, a menudo dentro de las células y parecen ser los órganos de reserva. La micorriza cuya red miceliar penetra en el interior de las células y que posee vesículas y arbusculos se llama endomicorriza (del griego ENDO= del interior) vesículo-arbuscular (V-A) (Le Tacon, 1985). Este tipo de micorrizas es frecuente y está universalmente extendido, encontrándose en muchas especies agronó

micas de importancia económica como maíz, frijol, trigo, cebada, papa, casi todas las plantas herbáceas junto con los árboles frutales, y muchos cultivos de plantaciones tropicales. Las plantas de la zona templada que poseen pocas raíces suculentas y pelos radicales cortos son beneficiadas considerablemente por la endomicorriza, por ejemplo, cebolla, tomate, chile, frambuesa, cítricos, uva, manzana, chabacano, durazno, liquidambar, ciruelo y tejocote. En los trópicos, piña, mango, papaya, guayaba, zapote blanco y negro, mamey, chirimoya, guanabana, naranja, mandarina, toronja, tangerina, litchi, fruto de la pasión, aguacate, cacao, café, tabaco, palma de aceite, yuca, pimienta, clavo de especia, etc. Todas estas especies son densamente colonizadas por la endomicorriza V-A. Estos hongos son estrictamente simbióticos y, por el momento, no han sido cultivados en cultivo puro, en ausencia de su huésped, contrariamente a los hongos ectomicorrízicos (Hayman, 1980; Smith, 1980; Ocampo, 1980; Le Tacon, 1985).

### 3.1.2. Taxonomía de la endomicorriza vesículo-arbuscular (V-A)

En el siglo pasado existían diferentes opiniones entre los diversos autores con respecto a la clasificación taxonómica de la endomicorriza. Link en 1809 describió el género *Endogone*. Posteriormente, viene una serie de reacomodamientos basados en características morfológicas y de hábitat,

lo cual originó que el género *Endogone* sea colocado en los Mucorales por Bucholtz en 1912. Más tarde, Harley en 1948, los introduce dentro de los Ficomicetos. Tiempo después, Gerdemann y Nicolson en 1963, mostraron que las clamidiosporas eran muy comunes en el suelo, y el género *Endogone* junto con la familia Endogonaceae fueron diferenciados morfológicamente y se empezaron a incluir en esta familia las especies que produjeran clamidiosporas en suelo o raíces. Gerdemann y Trappe en 1974, realizaron un estudio de la familia Endogonaceae, y reconocieron tres géneros que previamente habían sido descritos (*Glomus*, *Sclerocystis* y *Acaulospora*), además describieron un nuevo género (*Gigaspora*).

No obstante ha sido necesario modificar esta clasificación morfológica y subdividir a las antiguas micorrizas endotróficas en varios grupos, ésto se debe a que hoy en día se sabe que los hongos formadores de endomicorriza están muy distanciados taxónomica y fisiológicamente. Por lo cual es evidente basar la clasificación actual en relaciones filogenéticas, cimentadas en pruebas quimiotaxonómicas, cromosómicas y fisiológicas, entre los miembros de la familia Endogonaceae (Howeler, 1983).

De acuerdo y en base a los estudios actuales, la clasificación taxonómica de los hongos endomicorrízicos vesículo-arbusculares queda comprendida en la forma siguiente:

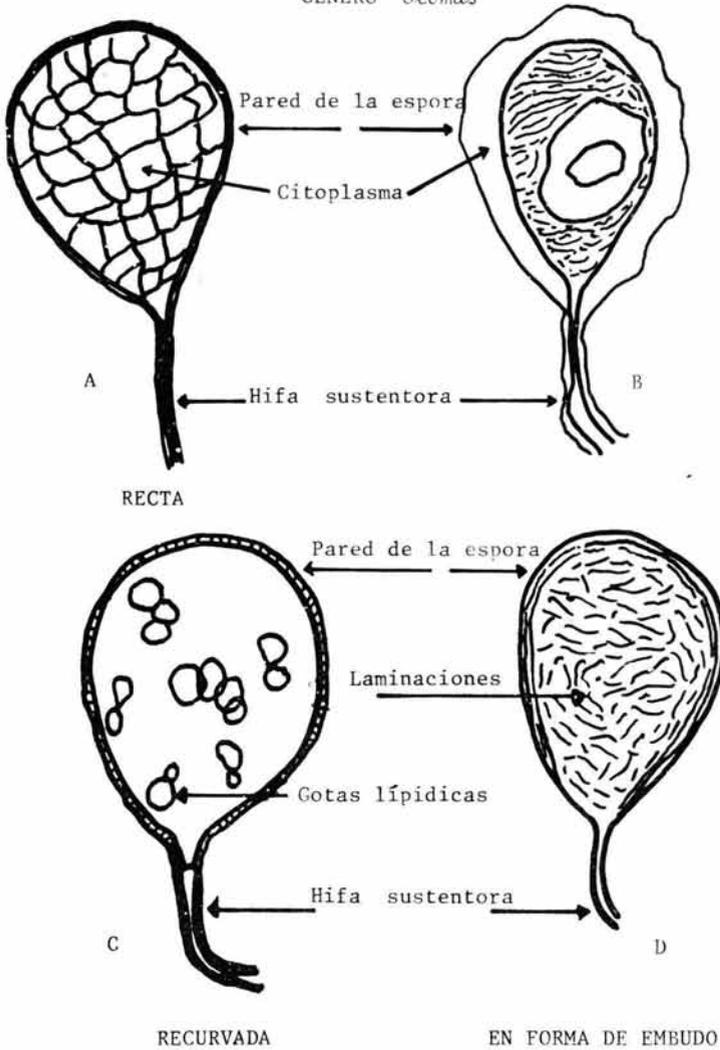
|                   |   |
|-------------------|---|
| Reino .....       | Fungi   |
| Subreino .....    | Thallophyta   |
| División .....    | Amastigomycota  |
| Subdivisión ..... | Zigomycotina  |
| Clase .....       | Zigomicetes   |
| Orden .....       | Endogonales   |
| Familia .....     | Endogonaceae  |
| Género .....      | <i>Glomus</i> , <i>Sclerocystis</i> ,<br><i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> , y <i>Gigaspora</i> . |

(Weijman y Meuzeldar, 1979).

En la familia Endogonaceae, solamente los géneros *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora* forman micorriza vesicular-arbúscular (V-A). Basados en la morfología de la formación de esporas, existen dos grupos; a) los géneros que producen clamidiosporas, al cual pertenecen *Glomus* y *Sclerocystis* (Fig. 1 y 2), y b) los géneros que producen azigosporas que son *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora* (Figs. 3, 4 y 5).

Género *Glomus* (del griego, GLOMUS = una bola de estambre), forma esporas libres en el suelo y en esporocarpos. La germinación de los tubos germinativos es por crecimiento renovado de la hifa sustentora. Se ha aceptado que las clamidiosporas representan estados asexuales de especies zigospóricas. Todas las especies que forman a este género se encuentran en todos los hábitats de la naturaleza, siendo común su fructificación bajo el suelo, aunque también se han visto esporocarpos sobre la superficie del suelo y dentro de las raíces de las plantas hospederas. Los esporocarpos son de tamaño variable (105-1800 x 330-1400 micras de diámetro) y presentan un color transparente amarillo claro con un tinte verde brillante virando a café oscuro con la edad. Las clamidiosporas son globosas, subglobosas, ovaladas, cilíndricas e irregulares. Su pared está constituida hasta por 9 capas de 1-2 a 3-17 micras de espesor. El contenido de la spora se comunica con el de la hifa sustentora en el período juvenil, pero cuando las esporas maduran se cierra el poro de comunicación por un engrosamiento de la pared externa de la hifa sustentora, la cual puede ser recta en forma de embudo o encorbada (Gerdemann y Trappe, 1974).

Género *Sclerocystis* (del griego, SCLERO = fuerte, CYSTIS = vesícula). Este género difiere de *Glomus* por el arreglo típico de sus esporas en una capa simple, elongada



*Glomus* : En este género, las clamidosporas se forman en los extremos de las hifas, generalmente una en cada extremo. La pared de la espora puede ser laminar o doble. Las esporas de la mayoría de las especies de *Glomus* nacen individualmente en el suelo pero algunas pueden formarse en las raíces o en esporocarpos. A Espora joven. B. Espora madura. C. Espora con hifa sustentora con septo. D. Espora con laminaciones.

Curso J. M. Trappe y E. Sieverding. 1985. Sección de Microbiología C.P.

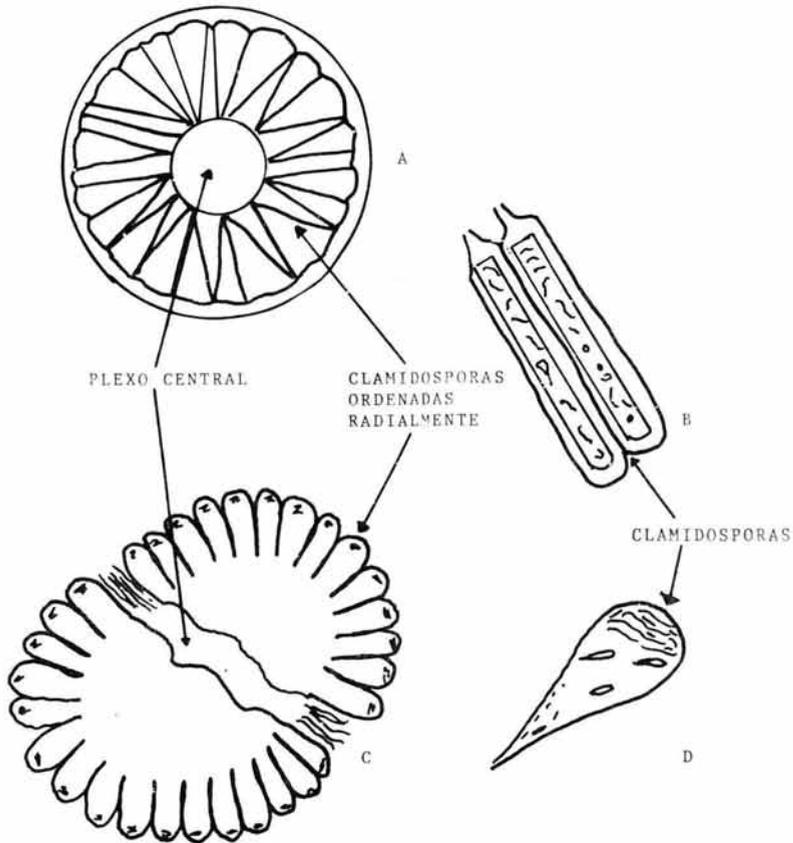


FIG. 2. ESPOROCARPOS Y CLAMIDOSPORAS DE *Sclerocystis*.  
 A, ESPOROCARPO CON CLAMIDOSPORAS RADIALES.  
 B, CLAMIDOSPORAS RADIALES AISLADAS DEL ESPOROCARPO.  
 C, ESPOROCARPO DE *Sclerocystis clavispora*.  
 D, CLAMIDOSPORA AISLADA DE *Sclerocystis clavispora*.

y radial fuera de plexo hifal del esporocarpo. Esta diferencia ha sido de gran valor taxonómico, sin embargo, podría ser un estado evolutivo más avanzado en morfología estructural de los esporocarpos de *Glomus*. La distribución de este género es muy reducida, pues únicamente se le ha encontrado en suelos tropicales y subtropicales.

Las especies que forman a éste género, producen esporocarpos globosos a subglobosos de 460-750 x 590-780 micras de diámetro, y con color café a negro. Se han contabilizado hasta 27 clamidiosporas estrechamente empaquetadas alrededor del plexo central del esporocarpo. Las clamidiosporas son de color café oscuro de 140-185 x 20-50 micras, en forma de clava a subcilíndrica, afilándose a una unión hifal de 7-10 micras de diámetro. Las paredes de las esporas son de 1.5-5 micras de espesor en las orillas y en sus ápices engrosados es 17-25 micras, el engrosamiento de la base es de 5-8 micras y presenta oclusión de la unión en la madurez (Gerdemann y Trappe, 1974; Janos, 1984).

Género *Gigaspora* (del griego GIGA = gigante, SPORA = espora), se caracteriza por la formación de grandes esporas llamadas azigosporas, pues se asemejan a éstas en muchos aspectos, sin embargo ellas no son el resultado de la fusión o unión de dos gametangios. Las paredes de estas esporas son continuas, excepto por una muy pequeña que funciona para ocluir el poro. La pared de la espora se encuentra unida a

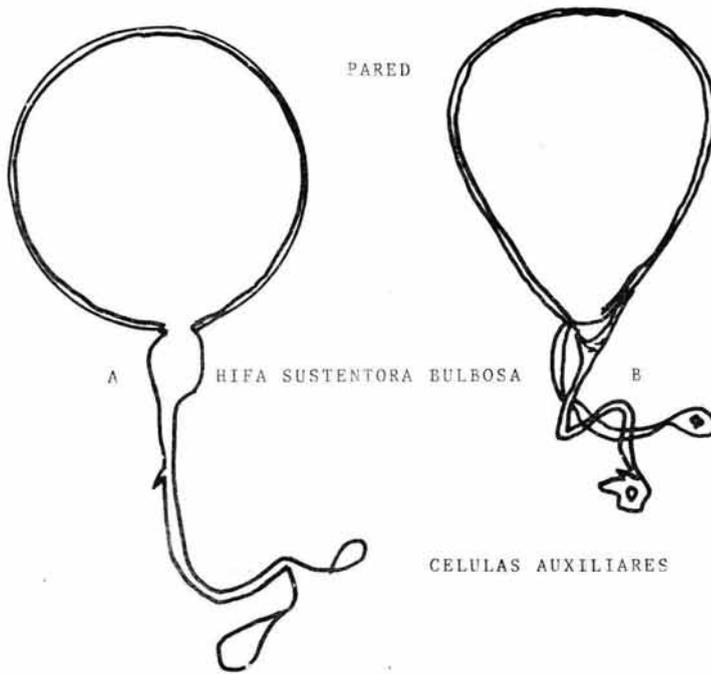


FIG. 3. AZIGOSPORAS DE *Glanospora*.

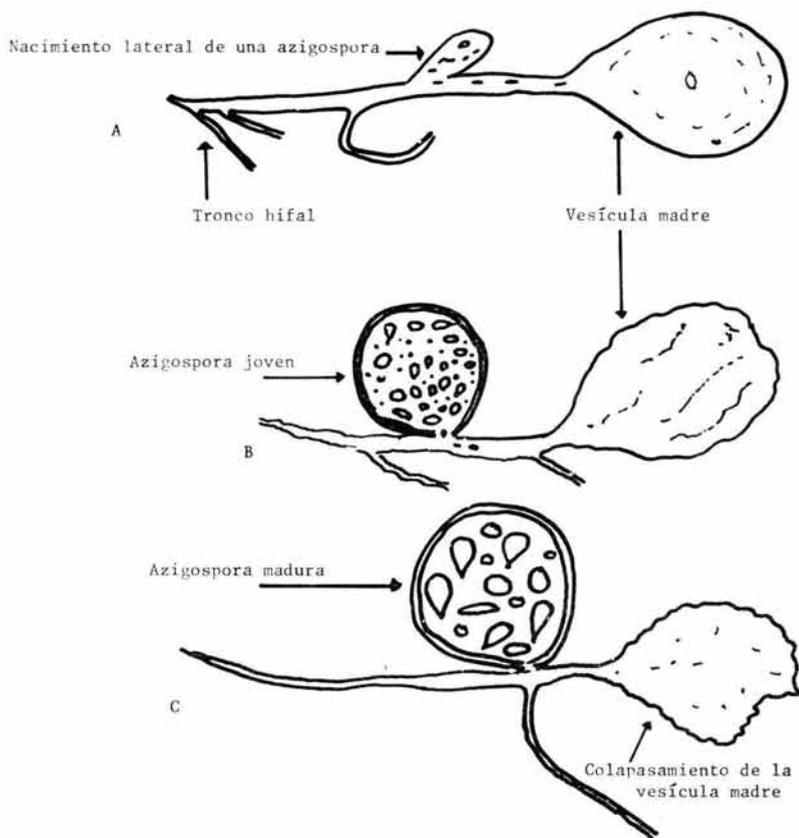
A, AZIGOSPORAS CON HIFA SUSTENTORA BULBOSA.

B, AZIGOSPORAS CON HIFA SUSTENTORA RAMIFICADA.

una estructura bulbosa, la cual generalmente tiene una hifa que se extiende de ella hasta la espora. Sus tubos germinativos pasan directamente a través de la pared de la espora en la región de la base. La mayoría de las esporas son esféricas con 143-330 micras de diámetro, ocasionalmente elipsoidales de 232-252 x 234-250 micras, no ornamentadas (Sanni, 1976).

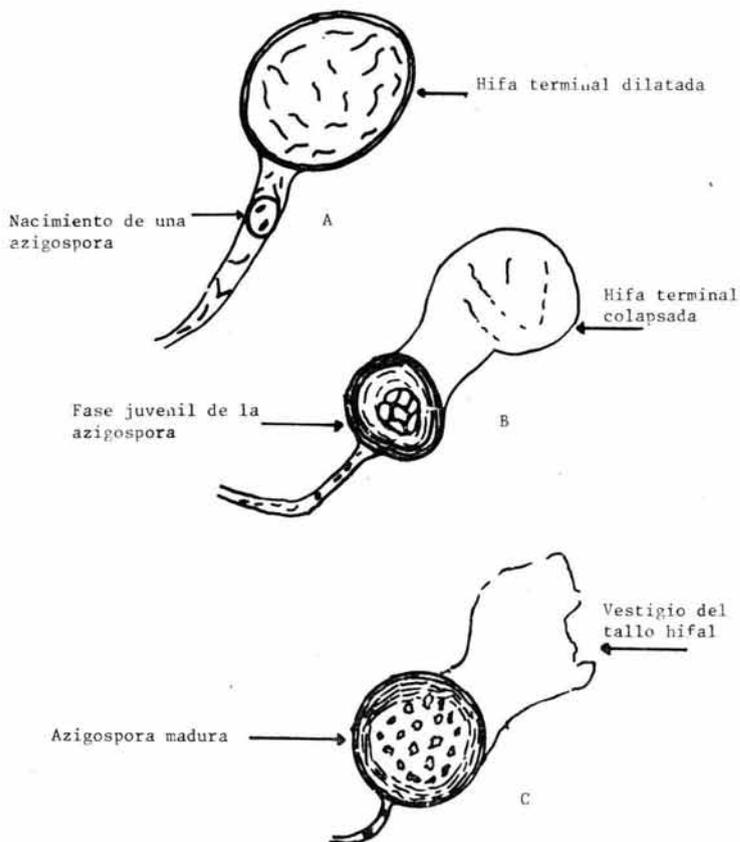
Género *Acaulospora* (del griego A = sin, CAULOS = tallo, SPORA = espora), se caracteriza porque sus esporas son sésiles. Las esporas producidas por este género son consideradas como azigospóricas, forman vesículas largas con un contenido denso y se producen terminalmente sobre una hifa lateral que está comunicada a la espora madre. A menudo las esporas hijas tienen un tamaño similar al de la espora madre. El contenido de las vesículas es transferido a la espora, la vesícula se vacía y se colapsa. Las azigosporas son producidas en el suelo, son largas, globosas y subglobosas (Gerdemann y Trappe, 1974; Janos, 1984).

Género *Entrophospora* (del griego, ENTRO = interno, PHOS = lateral, SPORA = espora). Hasta el momento no existe una descripción concreta de las características morfológicas e implicaciones fisiológicas de las esporas que forman las especies incluidas en este género. Lo poco que se sabe, es que las esporas poseen una hifa sin forma bien definida como en *Glomus* o en *Gigaspora*. Cuando alcanzan su madurez



*Acaulospora*: Los hongos que pertenecen a este género forman azygosporas. La espora nace de una vesícula grande de pared delgada de una hifa terminal en forma de un embudo ancho (A), el contenido de la vesícula es transferido a la espora (B) y cuando ésta alcanza la madurez la vesícula se vacía y se colapsa (C).

Curso J. M. Trappe y E. Sieverding, 1985. Sección de Microbiología, C.P.

GENERO *Entrophospora*

*Entrophospora*: Hasta el momento no existe una descripción concreta de las características morfológicas e implicaciones fisiológicas de las zigosporas. A, una hifa terminal dilatada da origen a una zigospora. B, Desintegración celular de la hifa terminal dilatada y transferencia de material citoplasmático a la zigospora joven. C, colapsamiento total de la hifa terminal dilatada y zigospora madura en etapa reproductiva.

Curso J. M. Trappe y E. Sieverding, 1985. Sección de Microbiología, C.P.

las esporas de *Entrophospora* dan origen a una espora hija en el extremo opuesto y lateralmente. El citoplasma de la espora madre, es transferido por corrientes citoplasmáticas hacia la espora hija, la cual empieza a desarrollar y posteriormente a estabilizar su metabolismo con el subsecuente crecimiento; mientras tanto, la espora madre sufre una desintegración celular lenta y se colapsa. Las esporas de este género son esféricas y globosas con citoplasma denso. Presentan de cuatro a siete paredes con ornamentaciones (Alwis y Abeynayake, 1980).

De la revisión taxonómica pueden sustraerse las siguientes consideraciones; a) Los géneros *Glomus* y *Sclerocystis* forman esporocarpos en el suelo, siendo más frecuente en *Glomus* la presencia de esporas simples en el suelo. Del género *Glomus* hay especies que forman esporas en la epidermis de las raíces.

b) Los géneros *Gigaspora*, *Acaulospora* y *Entrophospora* no producen esporocarpos. Los géneros se diferencian entre sí por la hifa sustentora típica, como en *Gigaspora* o por la formación de esporas conectadas a hifas terminales dilatadas en *Acaulospora* y *Entrophospora*.

c) Sin hifa de soporte o sustentora no es posible realizar la identificación de una espora a nivel de género y mucho menos a nivel de especies.

d) La identificación de las distintas especies en cada género se hace en base a características morfológicas de las esporas.

### 3.1.3. Estructuras típicas de la endomicorriza V-A.

Aproximadamente el 95% de las especies de plantas vasculares en el mundo presentan micorrizas, considerándose ya como una norma en la nutrición de las plantas terrestres (Trappe, 1981). En esta asociación prevalecen tres componentes que la caracterizan, hifas, arbuscúlos y vesículas.

Hifas. A través de ellas se inician los puntos de penetración, se encuentran en el exterior de la raíz formando una red de hifas flojas que tienen la capacidad de explorar el suelo hasta una distancia de 7 cm (Safir, 1980) y poseen un mecanismo enzimático extremadamente eficiente y gran habilidad bioquímica para utilizar fosfatos complejos, donde el ciclo de nutrientes lento y cerrado (Lewis, 1973). Estas hifas son variables en forma, tamaño y diámetro (Gerdemann, 1975). Las hifas son cenocíticas cuando son activas y forman septos distantes entre sí cuando entran en un proceso de senectud o las condiciones son desfavorables (Roviera y Davey, 1974; Ocampo, 1980).

**Arbúsculos.** Durante el proceso de colonización la hifa penetra en la célula cortical y una vez dentro sufre un ensanchamiento llamado tronco arbuscular, a partir del cual hay una sucesión de ramificaciones dicotómicas que dan lugar a una estructura haustorial llamado arbúsculo (Gerdemann, 1968; Hayman, 1979; Mosse, 1981). Los arbúsculos, generalmente funcionan en la transferencia de nutrientes entre los simbioses (Carling y Brown, 1981). Kinden y Morton (1975), proponen como hipótesis, que el mecanismo de incorporación de los elementos nutritivos útiles al hospedero, se lleva a cabo por un proceso de síntesis y lisis.

**Vesículas.** Las vesículas son estructuras terminales ovaladas o esféricas que contienen abundantes gotas de lípidos (Gerdemann, 1975). Ellas se forman inter o intracelularmente dependiendo de la especie y del hospedero (Mosse, 1973 b). Tienen la función de servir como sitios de reserva para la planta, y en algunos casos, su pared gruesa las asemeja a clamidiosporas. Se forman intra o intercelularmente y tanto fuera como dentro de la raíz (Azcón-G. y Barea, 1980).

Con respecto a los componentes orgánicos e inorgánicos que constituyen a estas estructuras, se ha mostrado que las hifas contienen quitina en su pared celular y sustancias fenólicas (Nemec, 1981). Pero es mayor la proporción de lípidos, polisacaridos y polifosfatos (Nemec, 1982). En cuanto a los arbúsculos, se ha encontrado que poseen lípidos,

proteínas, pectinas (en las ramificaciones de los arbuscúlos), carbohidratos, glucogeno, ácidos nucleicos, ácidos mucopolisacáridos y granulos de polifosfatos (Cox y Sanders, 1974; Nemeč, 1982). Las vesículas son ricas en material lipídico y osmiofílico: lípidos, proteínas, carbohidratos, polifosfatos, quitina y sustancias fenólicas (Nemeč, 1981; Cox y Sanders, 1974). Los lípidos de las vesículas y de las hifas son químicamente similares. Estas estructuras también presentan ácidos trigliceridos, los cuales se cree, que son una fuente de energía propia, y una alternante para la planta (Nemeč, 1982). Por otra parte, Callow, *et al.* (1978), creen que los hongos endomicorrízicos sintetizan gránulos vacuolares de polifosfato a partir del fosfato del suelo, y que los gránulos son catalizados en los arbuscúlos como fosfatos inorgánicos y liberados en las células del hospedero. Este flujo de fósforo ocurre gracias a los componentes enzimáticos que posee el micelio extramatricial e intramatricial, arbuscúlos y vesículas. Gianinazzi, *et al.* (1979), han mostrado que fuertes actividades de enzimas fosfatadas ácidas y alcalinas, son localizadas dentro de las vacuolas de los arbuscúlos maduros e hifas intercelulares. Ellos consideran que ambos tipos de fosfatasas están involucradas en el mecanismo activo de transporte de fosfato por las hifas fungales. También se ha comprobado la presencia de fosfatasas alfa y beta-glicerofosfatasas, glutamato deshidrogenasa, succinato deshidrogenasa, gliceraldehído-3-fosfato dihidrogenasa,

glucosa-6-fosfato dehidrogenasa, NADH, y NADPH en el micelio extramatricial, arbusculos y vesículas (Macdonald y Lewis (1978)).

#### 3.1.4. Morfología y anatomía de la colonización endomicorrízica

La colonización producida por la micorriza vesicular-arbuscular, produce poco cambio en la morfología de la raíz externa (Gerdemann, 1974). La morfología interna de la endomicorriza es rápidamente observable por técnicas de clareo y tinción (Bevege, 1968; Phillips y Hayman, 1970; Kormanik, 1980).

La colonización se desarrolla a partir de las clamidiosporas o bien a partir del micelio originado en una raíz previamente colonizada. Los tubos de germinación de las clamidiosporas forman un apresorio sobre la superficie de la raíz, produciéndose así la penetración del hongo que tiene lugar normalmente en las células epidérmicas, a continuación, la hifa invasora se ramifica intercelularmente, de forma rápida, en la corteza de la raíz, es decir, en la ectodermis, sin invadir endodermis, tejidos vasculares, ni meristemos (Gerdemann, 1974). Poco tiempo después de iniciada la colonización se desarrollan los arbusculos mediante ramificación dicotómica repetida de hifas intracelulares (Cox y Tinker, 1976).

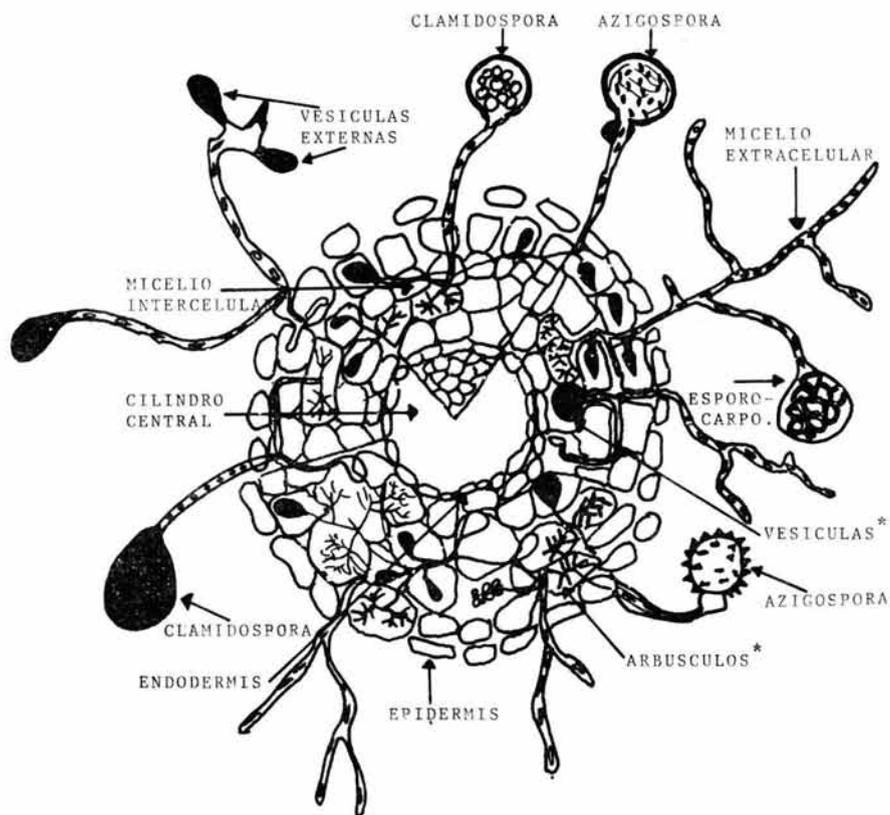


FIG. 7. MORFOLOGIA MICROSCOPICA DE UNA RAIZ MICORRIZADA  
 \* ESTRUCTURAS POR LAS CUALES SE DENOMINA ENDOMICORRIZA VESICULO  
 ARBUSCULAR.

Cuando se forman los arbúsculos, el almidón de la célula colonizada desaparece, al tiempo que el núcleo se alarga y divide. Los arbúsculos son digeridos rápidamente y su contenido es absorbido por el huésped. Después de que los arbúsculos son digeridos, los núcleos regresan a su tamaño normal y el almidón suele reaparecer. Posteriormente a los arbúsculos se forman las vesículas, que son estructuras ovoideas con material lípidico y de fina membrana. Las vesículas son órganos de reserva. Probablemente en éstas estructuras funcione un sistema enzimático para obtener energía, tanto para el hongo como para la planta, parecido al de Embden-Meyerhof-Parnas, y un ciclo del ácido tricarbóxico; y una derivación de las hexosas monofosfato (MacDonald y Lewis, 1978). Las vesículas se forman inter e intracelularmente y tanto dentro como fuera de la raíz. El desarrollo de la colonización en el interior de la corteza está acompañado por un crecimiento exterior de las hifas, estableciéndose posteriores puntos de entrada. Las hifas que emergen de la raíz se extienden por el suelo varios centímetros, dando lugar al micelio externo que constituirá el sistema de absorción de nutrientes. Sobre el micelio externo se forman grandes esporas vegetativas que van madurando hasta convertirse en clamidiosporas; determinadas especies desarrollan también esporocarpos (Carling y Brown, 1981).

Estudios ultraestructurales de la endomicorriza vesicular durante el proceso de colonización han aumentado nuestro entendimiento sobre éste tipo de simbiosis. De esta forma ahora se sabe que las células corticales son colonizadas por hifas intercelulares de citoplasma denso, con núcleo, mitocondrias, retículo endoplasmático y ribosomas. Otras son altamente vacuoladas dando el citoplasma un aspecto de reticulado (Desheimer, *et al.* 1979). Las hifas inter e intracelulares contienen muchas vacuolas, y cuerpos osmiofilicos. Tanto las células como el plasmalema del hospedero son invaginadas por el endófito. Sin embargo, daños mecánicos en las paredes del hospedero no son evidentes; el hongo produce enzimas para penetrar. En el punto de penetración, las células del hospedero producen una capa que rodea al endófito invasor. Esta estructura ha sido llamada el "collar". El plasmalema del hospedero es adyacente al collar (Cox y Sanders, 1974) y la integridad estructural del plasmalema es retenida durante el proceso de colonización. Algunas contracciones aparecen en el endófito cerca del punto de penetración, las cuales regresan a sus dimensiones originales en el lado interno de las paredes de las células corticales. Una vez que el endófito se encuentra dentro de las células forma el tronco arbúscular (Kariya y Toth, 1981). Las células corticales siempre poseen arbúsculos en varias etapas de desarrollo. Ramas deterioradas de los arbúsculos son observadas en casi todas las células colonizadas. La dege

neración de los arbusculos se caracteriza por un colapsamiento de las ramas finas. Este proceso continúa en una forma dinámica, de los extremos hacia el tronco arbuscular y se observan masas de material en necrosis (Holley, *et al.* 1979).

### 3.1.5. Fisiología de la endomicorriza V-A

Las endomicorrizas son estrictamente simbioses obligadas y por el momento no han sido multiplicadas en cultivo puro en ausencia de su huésped, por lo cual no existen estudios metódicos en cuanto a su fisiología. En la actualidad los conocimientos fisiológicos de las endomicorrizas se fundamentan en observaciones directas sobre hospederos de prueba y utilización de radioisótopos como  $^{32}\text{P}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{35}\text{S}$ , y  $^{65}\text{Zn}$  (Gray y Gerdemann, 1969; Hayman y Mosse, 1972; Tinker, 1975b; Cooper y Tinker, 1978). De igual forma los cortes de raíces para posterior evaluación microscópica, el análisis histoquímico de células, tejidos de la planta y el hongo, el empleo de estudios ultraestructurales con microscopía de electrones y de barrido, así como los efectos inducidos sobre el crecimiento de las plantas sometidas a diferentes condiciones de cultivo han permitido avanzar prudentemente sobre este tema.

La micorriza se desarrolla cuando una hifa de una espora o una raíz previamente infectada (Powell, 1976) hace contacto con raíces o pelos radicales de las plantas, formando un apresorio en las células epidérmicas y subsecuente colonización de las células corticales por cadenas de hifas inter e intracelulares (Powell, 1982). Las vesículas se forman terminalmente en la hifa intercelular. Los arbusculos se desarrollan a los pocos días de iniciada la colonización (Rich y Bird, 1974), las hifas penetran mecánica y enzimáticamente dentro de las células corticales (Kinden y Brown, 1975). Como la hifa del arbusculo se bifurca repetidamente (Cox y Sanders, 1974) ellas son cubiertas por una capa mucilaginosa derivada del huésped (Scannerini y Bonfante-Fasolo, 1979), con la subsecuente invaginación de su plasmalema (Cox y Sanders, 1974; Desheimer, *et al.* 1979).

El principal efecto de la colonización micorrízica en el crecimiento de la planta, es la estimulación de la toma de fósforo (Mosse, 1973b; Gerdemann, 1976). Este elemento es poco móvil en el suelo y la planta lo absorbe solamente en una zona muy cercana a la raíz (uno o dos milímetros); en ésta el fósforo se agota, mientras que fuera de ella no está a su alcance. La red de hifas que produce el hongo se extiende hasta 8 cm más allá de la zona de agotamiento aumentando así el volumen de suelo explorado y mejorando la eficiencia de absorción de fósforo por la planta (Gray

y Gerdemann, 1969; Rhodes y Gerdemann, 1975; Howeler, 1983). El fósforo absorbido es probablemente convertido a gránulos de polifosfato en la hifa externa (Callow, *et al.* 1978) y pasado al arbusculo donde es desdoblado hasta fosfato inorgánico para transferirlo al huésped (Schoknecht y Hattingh, 1976; White y Brown, 1979). Este flujo de fósforo ocurre en la presencia de fosfatasas ácidas (Gianinazzi-Pearson, *et al.* 1978; Gianinazzi, *et al.* 1979) durante la efímera vida del arbusculo (Cox y Tinker, 1976) o en su senescencia (Kinden y Brown, 1976).

Una de las funciones más importantes de las micorrizas es absorber los elementos minerales del suelo y transferirlos a la planta huésped. La planta por sí sola no puede absorber a través de sus raíces más que los elementos minerales solubles, que se encuentran en cantidades muy pequeñas en el suelo en condiciones naturales. Las micorrizas facilitan la absorción de todos los elementos minerales, pero sobre todo la de los menos solubles y menos móviles en el suelo como el fósforo, el cobre y el zinc (Le Tacon, 1985).

Tinker (1975) sugiere diferentes mecanismos por los que la micorriza puede inducir un incremento en la captación y suministro de fosfatos a la planta: 1) la infección por el hongo micorrízico produciría un cambio en la morfología de la raíz, con lo que induciría en la planta una

mayor capacidad de captación de fósforo, 2) el incremento de la captación del fósforo puede deberse a que las raíces micorrizadas tienen mayor longevidad que las no micorrizadas, como órgano absorbente, 3) el hongo proporciona mayor superficie de absorción a la planta y 4) las raíces micorrizadas o las hifas tienen capacidad para utilizar fuentes no disponibles para la raíz no micorrizada.

En algunos experimentos, el hongo micorrízico es capaz de tomar fuentes de fósforo orgánico e inorgánico del suelo (Murdoch, *et al.* 1967; Powell, 1979a). Cress, *et al.* (1979) mostraron que las raíces micorrizadas tienen una mayor afinidad para los iones ortofosfato que las raíces no micorrizadas, pero Sanders y Tinker (1971) y Hayman y Mosse (1972), usando suelo tratado con calor, afirman que las plantas con micorriza y sin ella utilizan las mismas fuentes de fósforo, concluyendo que las plantas con endomicorrizas se alimentan de fósforo exactamente como las plantas no micorrizadas, es decir, básicamente a expensas del fósforo soluble del suelo. Sin embargo, la hifa micorrízica se extiende dentro del suelo más allá de la zona de nutrientes agotados y puede incrementar la efectividad de la absorción de elementos inmóviles por hasta 60 veces (Menge, 1976).

Pearson y Tinker (1974) cuantificaron el flujo de fósforo en la hifa externa de las endomicorrizas. Su trabajo, confirmó que la hifa de *Glomus mosseae* transporta fósforo

de 1 a 2 cm dentro de la raíz del hospedero. Al calcular el flujo de entrada de fósforo en la hifa, encontraron que oscilaba entre 0.3 y 1.0 moles/cm<sup>-2</sup>/seg<sup>-1</sup>. Empleando fósforo radioactivo (P<sup>32</sup>) se ha encontrado que el flujo de la entrada del fósforo en las raíces no micorrizadas es aproximadamente de  $4 \times 10^{-14}$  moles/cm/seg y en las raíces micorrizadas es de  $18 \times 10^{-14}$  moles/cm/seg. En estos datos se observa que la velocidad de captación de fósforo por unidad de longitud de raíz es cuatro veces superior en las raíces micorrizadas (Tinker, 1975b).

Los beneficios de las endomicorrizas no se limitan únicamente a mejorar la absorción de fósforo. Existen reportes que indican incremento de la absorción de otros elementos como zinc (Bowen, *et al.* 1974), azufre (Gray y Gerdemann, 1975), estroncio (Jackson, *et al.* 1973), potasio (Powell, 1975), cobre (Le Tacon, 1985). La micorriza aparentemente no juega un papel importante en la absorción directa del nitrógeno, pero se ha demostrado que incrementa la capacidad de la fijación de nitrógeno en las leguminosas (Daft y El-Giahmi, 1975). Es mayor la concentración de ácido indolacético (AIA) y de citoquininas en plantas micorrizadas que en aquellas que no lo están (Allen, *et al.* 1980). Las plantas con micorrizas están mejor capacitadas para soportar condiciones de estrés durante el trasplante o en períodos de sequía, en suelos con niveles tóxicos de

aluminio, manganeso y sodio, o en suelos inestables donde las hifas contribuyen a la agregación del suelo (Hayman, 1980). Clough y Sutton (1978) han demostrado que los hongos endomicorrízicos son capaces de producir sustancias pegajosas, posiblemente polisacaridos, con las cuales contribuyen a la formación de agregados semiestables en suelos sueltos. Además, la inoculación micorrízica estimula el enraizamiento (Barrows y Roncadori, 1977), da protección a plántulas y estacas durante el trasplante, y estimula su crecimiento (Kormanik, *et al.* 1978); deprime la penetración y el crecimiento de patógenos fungales y fitoparásitos radiculares (Roncadori y Hussey, 1977). La colonización micorrízica decrementa los efectos patológicos de las enfermedades que se dan a nivel de raíces por exclusión física de los sitios ya ocupados por las micorrizas (Stewart y Pflieger, 1977). También se ha cuantificado un mayor contenido de clorofilas a y b en plantas micorrizadas de tomate, las cuales son menos afectadas por las enfermedades vasculares (Dehne y Schonbeck, 1975). Las raíces de tabaco micorrizadas contienen más arginina que inhibió la infección y esporulación de un patógeno radical (Baltruschat y Schonbeck, 1975). Ciertas combinaciones planta-hongo micorrízicos pueden incrementar la resistencia de las plantas a algunos patógenos radicales y nemátodos. Si esto ocurre por directa exclusión física al competir por sitios en la rizósfera y rizoplano de las plantas, o por cambios metabó

licos involucrando la producción de antibióticos no ha sido aclarado (Hayman, 1980). Se han observado otros efectos de los hongos V-A sobre el huésped como el incremento en la absorción del agua (Safir, *et al.* 1971, 1972; Allen, 1982); mejoran la tolerancia de las plantas halófitas a suelos con cantidades extremadamente altas en sodio, potasio y magnesio (Pond, *et al.* 1984); son determinantes en la sucesión vegetal (Janos, 1980).

### 3.1.6. Factores que afectan la eficiencia de las endomicorrizas V-A

Numerosos factores pueden modificar el potencial infectivo de las endomicorrizas del suelo. En cualquier comunidad vegetal los hongos endomicorrízicos siempre están presentes y colonizan más plantas que cualquier otro hongo. Pero después de la desforestación (por ejemplo), la desaparición del huésped conlleva rápidamente la desaparición de los hongos simbióticos que no pueden sobrevivir solos. Las esporas de los hongos son órganos de propagación, pueden subsistir en el suelo durante varios años, pero después pierden su poder germinativo. Constantemente llegan nuevas esporas gracias al viento, procedente de zonas boscosas, incluso bastante alejadas. El potencial de infección de las micorrizas es en la mayoría de los casos bastante bajo en los suelos desforestados. De esta forma, la intervención humana puede conducir a la creación de zonas desprovistas

de endomicorrizas, por ejemplo los sitios contaminados y altamente perturbados (Le Tacon, 1985).

Diversos factores afectan el desarrollo y actividad de las micorrizas. Dentro de los más importantes se encuentran las prácticas culturales y los factores medioambientales (Gianinazzi, 1982). En suelos cultivados el hongo endomicorrízico es afectado por varias prácticas agrícolas y hortícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas, y rotaciones de cultivos. Cambios en la fertilidad del suelo debido a correcciones con fertilizantes minerales o materia orgánica pueden afectar marcadamente la actividad de la población micorrízica del suelo en términos de la cantidad de raíz colonizada y el número de esporas producidas (Hayman, 1981). Hay evidencias que indican que la adición de materia orgánica a los suelos conduce a un mejor desarrollo de la micorriza. Inversamente, existe información considerable sobre los efectos negativos de los fertilizantes nitrogenados sobre la formación micorrízica. Por ejemplo, en suelos arcillosos sembrados con trigo fueron evaluados y se determinó la colonización micorrízica y el número de esporas, encontrándose que el nitrato de amonio disminuyó marcadamente la colonización y el número de esporas (Hayman, 1970). Por otra parte, Kruckelmann (1975) encontró resultados diferentes en dos suelos fertilizados con 40 Kg N/ha mezclados con abono orgánico y un nematicida-biocida (FYM); sus resulta-

dos muestran un incremento en el número de esporas y en el porcentaje de colonización. Estos efectos opuestos en sue los diferentes se debe a diferencias en la fertilidad del suelo (Hayman, 1980).

La colonización provocada por la endomicorriza tiende a ser más prevalente en suelos de moderada a baja fertilidad (Gerdemann, 1975). Por lo general, los fertilizantes completos (NPK) crean efectos negativos sobre la intensidad de la colonización micorrízica (Hayman, 1981). Por lo tanto, suelos con alta fertilidad conducen a una pobre colonización, así que es muy improbable encontrar abundante micorriza en suelos cultivados y fertilizados intensamente (Khan, 1972b). Sin embargo, algunos cultivos son altamente dependientes de la endomicorriza aún en suelos muy fértiles, por ejemplo, maíz y cebolla (Hayman, 1980). Observaciones en diferentes sitios del sur de España, mostraron que no hay correlación entre el grado de colonización micorrízica y la fertilidad del suelo (Hayman, *et al.* 1976).

Mediante numerosos experimentos se ha demostrado que la intensidad de la colonización siempre es reducida cuando la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo au menta. Cuando la alimentación de la planta en estos dos elementos es excesiva, su rendimiento es muy elevado y la totalidad de los glúcidos fotosintetizados es empleada por la planta para producir compuestos proteicos y fosforados.

La cantidad de glúcidos presentes en las raíces disminuye y los hongos micorrízicos no pueden alimentarse de estos compuestos carbonados y desaparecen (Azcón-G. y Barea, 1980). Los ensayos en macetas en el invernadero han mostrado claramente la importancia de las endomicorrizas para la absorción de fósforo, tanto en papaya como en muchos otros cultivos. Los experimentos señalan que el efecto de la inoculación es más dramático en suelo estéril que en suelo no estéril, y que el efecto de la inoculación incrementa el rendimiento biológico y económico de las plantas (CIAT, 1982).

Plantas de *Leucaena leucocephala* fueron fertilizadas con roca fósforica ( $P_2O_5$ ) e inoculadas con endomicorriza vesículo-arbúscular. Se obtuvieron incrementos de peso seco de nódulos, raíz, altura de la planta al incrementarse los niveles de roca fósforica. Los valores producidos por la endomicorriza fueron similares a los obtenidos con la adición de 150 ppm de roca fósforica. Sin embargo, una interacción negativa fue observada en las variables: inoculación micorrízica x nivel de fósforo, ya que el peso seco de la raíz y la biomasa total tiende a incrementar cuando se aumenta el nivel de fósforo. Los efectos de la inoculación endomicorrízica en la ausencia de  $P_2O_5$  fueron menores que la inoculación endomicorrízica a 100 y 150 ppm de Roca fósforica, aunque estadísticamente no fueron diferentes (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1984).

Sánchez (1986) llevó a cabo un experimento con la finalidad de conocer la capacidad de la Roca Fósforica de la Baja California (RFBC) para suministrar fósforo a la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en un suelo ácido de Tabasco, México; en comparación con el superfosfato triple; y estudiar la posibilidad de aumentar su eficiencia con adición de activadores químicos (superfosfato triple y azufre) y biológicos (micorriza vesículo-arbúscular). Se instaló un experimento de invernadero con 24 tratamientos y 6 repeticiones. Los resultados muestran que el superfosfato superó significativamente a la RFBC en cuanto a abastecimiento de fósforo para la planta de yuca. Con respecto al endófito, la fumigación no favoreció la colonización micorrízica cuando ésta se introdujo por inoculación; en presencia de fertilización y en suelo sin fumigar no favoreció el desarrollo de la planta ni la absorción de fósforo, pero en suelo fumigado y sin fertilización promovió mayor desarrollo en la planta y 14.5% mayor absorción de fósforo.

Hay otros factores del suelo que sin duda desempeñan también un papel esencial en la fisiología del hongo, pero que no siempre es fácil determinar, por ejemplo el pH del suelo es difícil evaluar. Existen hongos micorrízicos adaptados a los suelos ácidos; otros lo están a los suelos alcalinos; otros son indiferentes al pH (Le Tacon, 1985).

El efecto de la humedad del suelo sobre el establecimiento y función de las endomicorrizas ha sido poco estudiado. Sin embargo se han sugerido efectos de la humedad del suelo en la colonización micorrízica en observaciones de campo e invernadero (Khan, 1974; Trinick 1977). Las esporas de los hongos micorrízicos son inhibidas en su germinación bajo condiciones de stress hídrico con la subsecuente colonización deficiente de las raíces (Reid y Bowen, 1977). Sin embargo, es conocido que algunos grupos de hongos pueden tolerar potenciales bastante bajos de agua (Mexal y Reid, 1973; Theodoru, 1978). El estado del agua en la planta puede también afectar la colonización del hongo por alteraciones en la corteza de la raíz la cual inhibe la penetración de la hifa (por ejemplo, suberización) o por cambios en la producción de estímulos en la raíz (Reid, 1974). Las plantas con problemas de saturación de agua dan origen a que las esporas de las endomicorrizas se colapsen y no germinen, de este modo nuevamente la colonización se reduce sensiblemente (Reid y Mexal 1977).

La reducción en la biomasa producida por las plantas hospederas como resultado de la colonización micorrízica ha sido atribuido a los efectos de la temperatura del suelo (Chilvers y Daft, 1978; Furlan y Fortin, 1973). La temperatura del suelo puede afectar la actividad fisiológica de las endomicorrizas (Ferrera-Cerrato, 1983b). Las variaciones morfológicas de varias especies de hongos micorrízicos (Gerdemann

y Trappe, 1974) son lo suficientemente grandes para sugerir diferencias importantes en sus relaciones fisiológicas. Esto queda ilustrado por las observaciones de Schenck, *et al.* (1975), quienes demostraron que la temperatura afecta diferentemente la germinación de las esporas de diferentes hongos endomicorrízicos.

Las altas intensidades de luz estimulan una mayor síntesis de arbúsculos en comparación con las bajas intensidades, lo cual está íntimamente correlacionado con altos suministros de carbohidratos en las raíces (Hayman, 1974). Una reducción del 50% de la intensidad luminosa en tabaco, disminuyó el porcentaje de colonización de 85% a 31% (Mosse, 1968). Bajas intensidades luminosas en los invernaderos durante el invierno reduce la colonización por la endomicrorriza (Gerdeman, 1968). Cultivos inoculados con endomicrorriza bajo condiciones de fuerte sombreado reduce la formación de esporas en un 80% (Mosse, 1973).

Los factores que afectan la distribución, actividad y supervivencia de los hongos endomicorrízicos son los siguientes; fertilidad del suelo, humedad y materia orgánica, nivel de oxígeno en el suelo, nutrientes (disponibilidad), tipo de suelo, pH, profundidad, altitud, precipitación, movimientos físicos del agua, temperatura, intensidad de la luz, vegetación, susceptibilidad del huésped, efectividad e infectividad del endófito, patógenos foliares y radicu-

lares. Además, la mesofauna del suelo tiene gran trascendencia sobre la actividad micorrízica, sobresaliendo en forma especial los colémbolos, nemátodos, ácaros, arácnidos y oligoquetos (Hayman, 1980; Trappe, 1984).

Finalmente cabe destacar, el empleo de pesticidas en los cultivos y su efecto sobre la endomicorriza. Ocampo y Hayman (1980) indican que la población de hongos endomicorrízicos en campos arables son afectados drásticamente por nematicidas, insecticidas, biocidas y fungicidas; algunas veces sus efectos son mínimos o poco positivos, pero usualmente alteran el número de esporas y la colonización endomicorrízica. Con respecto a los herbicidas, se ha encontrado que afectan negativamente la fisiología de las plantas y son determinantes para los hongos endomicorrízicos (Iloba, 1977).

### 3.1.7. Respuesta de los frutales a las endomicorrizas V-A

Botello (1985), obtuvo incrementos considerables en materia seca al inocular con 4 hongos endomicorrízicos a plántulas de *Citrus aurantium*. Los incrementos fueron los siguientes: 1149.09% para *Gigaspora calospora*; 1127.27% para *Glomus epigaeus*; 1069.01% para *Glomus intraradices*; 1027.15% para *Glomus macrocarpum*.

Marx, *et al.* (1971) probaron el efecto del hongo endo micorrízico *Endogone mosseae* (ahora *Glomus mosseae*) sobre el crecimiento de dos especies de *Citrus*: el limón rugoso (*Citrus limon*, Burm) y el naranjo agrio (*C. aurantium* L.). Los efectos del hongo sobre el crecimiento fueron altamente significativos para el limón rugoso con incrementos notables en el tamaño de las plántulas; no así para el naranjo agrio, en el cual no se presentaron diferencias significativas a este respecto. Esto es debido a la alta dependencia micorrízica del limón rugoso, según lo encontrado por Menge, *et al.* (1978) en un experimento realizado sobre 6 portainjertos para cítricos. Los valores de la dependencia micorrízica que informan para cada uno de ellos son los siguientes: limón rugoso, 923%; naranjo agrio de Brazil, 723%; Citrange troyer, 430%; naranjo dulce "Bessie", 362% y naranjo trifoliado (*Poncirus trifoliata*), 252%.

Menge, *et al.* (1978) compararon el crecimiento de plántulas de *Citrus* micorrizadas y no micorrizadas sobre un rango de concentraciones de fósforo, encontrando que la colonización del hongo micorrízico fue equivalente a la adición de 56 y 278 mg de P por kilogramo de suelo para plántulas de citrange y naranjo agrio, respectivamente.

Para determinar el contenido de carbohidratos, plántulas de cítricos micorrizadas y no micorrizadas fueron analizadas cuantitativamente, los resultados obtenidos muestra

ron que las plantas inoculadas se desarrollaron mejor y su biomasa fue altamente significativa en relación a la de los testigos; se determinaron grandes cantidades de azúcares solubles, sacarosa, azúcar reductor, almidón y carbohidratos no estructurales por gramo de tejido en las plantas micorrizadas. Las plantas testigo no alcanzaron los niveles cuantitativos determinados en las plantas con micorriza. Unicamente los azúcares reductores, fructuosa y galactosa, se incrementaron hasta por dos veces en las raíces de las plantas inoculadas en comparación con aquellos niveles encontrados en las plantas control. El nivel de azúcares reductores en las plantas micorrizadas fue mayor en el follaje que en las raíces (Nemec, *et al.* 1982).

Plántulas de naranja agria (*Citrus aurantium*) micorrizadas con *Glomus fasciculatum*, *Glomus etunicatum*, y - - *Gigaspora heterogama*, fueron fertilizadas con tres niveles de fósforo. A 0 mg P/L, el peso seco y la producción de citoquininas de las plantas inoculadas fue mayor que el doble de las plantas no micorrizadas. Concentraciones de P en hojas de las plantas micorrizadas fueron hasta tres veces más que el cuantificado en las plantas testigo. A 50 mg P/L, no se encontraron diferencias en las concentraciones de P en follaje de ambos tratamientos. Sin embargo, el peso seco y la producción de citoquininas en las plantas inoculadas fue el doble que el de las plantas no ino-

culadas. A 100 mg P/L, el peso seco y la producción de citoquininas no varió entre plantas testigo y plantas micorrizadas con *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum*. Plantas colonizadas con *Gigaspora heterogama* tuvieron una producción más grande de citoquininas que las plantas testigo a pesar de presentar similar peso seco y concentraciones de P en las hojas (Davis, 1984).

Por su parte, Menge, *et al.* (1977) concuerdan con los autores antes mencionados y agregan que el efecto de las micorrizas sobre los cítricos puede ser substituido por la aplicación de fertilizantes fosfatados. El efecto de los exudados radicales de Citrange troyer (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*) sobre la germinación de clamidiosporas de *Glomus epigaeum*, fue examinado en agar agua. Después de 7 días de exposición de las esporas a los exudados radicales, la germinación fue incrementándose desde 10 hasta 27%. La longitud del tubo germinativo de las esporas expuestas a los exudados radicales fue más grande que el de las esporas no tratadas. Los exudados de la raíz estimularon la ramificación de los tubos germinativos, no sucedió lo mismo con las esporas no tratadas. Estos resultados indican que los exudados del huésped afectan la germinación de las esporas y el crecimiento del tubo germinativo de *G. epigaeum*, y por lo tanto, influye en la subsecuente colonización de la raíz y formación de la endomicorriza vesículo-arbuscular (Graham, 1982).

Covey, *et al.* (1981) compararon la respuesta de crecimiento de plántulas de manzano (*malus sp.*) inoculadas con *Glomus mosseae* y *Glomus microcarpum* y fertilizadas con 400 ppm de superfosfato de calcio simple (20%). Los resultados fueron los siguientes; *Glomus mosseae* incrementó la tasa de crecimiento (388%) de plántulas de manzana en relación a las plantas testigo. *Glomus microcarpum* fue ineficaz para estimular el crecimiento, pero cuando ambos hongos fueron mezclados e inoculados al sistema radical del manzano, su crecimiento se incremento hasta 478%. Las plantas testigo alcanzaron este valor después de la adición de 600 ppm de  $P_2O_5$  al 20%.

Plántulas de manzano creciendo en invernadero fueron inoculadas con raíces de *Fraxinus* colonizadas por hongos endomicorrízicos. La inoculación se realizó antes de ser plantados en el campo; a los controles se des adicionó su perfosfato (100 kg/ha P). La longitud de los tallos, la superficie de la hoja, el volumen de la raíz, el diámetro del tallo y el peso seco de las plantas inoculadas fueron más grandes que los controles fertilizados y no fertilizados. No se obserbaron diferencias significativas en el contenido foliar mineral. Sin embargo, el nivel de N, P, Ca, Cu y K fue mayor en las raíces de las plantas inoculadas. De esta forma, la inoculación de plántulas de manzano con hongos micorrizicos antes de su plantación definiti

va en campo no fumigado puede conducir a una significativa estimulación del crecimiento a pesar de la flora endomicorrízica nativa (Plenchette, et al. 1981).

Se realizó un estudio para probar la efectividad e infectividad de cepas de endomicorriza vesículo-arbuscular en árboles de manzana creciendo en Oregon. Se empleó como inóculo suelo y raíces de manzano de seis especies de hongos endomicorrízicos: 1) *Gigaspora margarita*, 2) *Glomus fasciculatum*, 3) *Glomus mosseae*, 4) *Gigaspora calospora*, 5) *Glomus monosporum*, 6) *Sclerocystis rubiformis*. El huésped propagante fue *Malus domestica* var. Rome Beauty. El primero de las seis especies de endomicorriza creció por fuera y dentro de las raíces del manzano inoculado, sugiriendo que son altamente infectivos para colonizar raíces de este frutal en el campo. *Glomus fasciculatum* fue el más efectivo en promover el crecimiento, la absorción y translocación de fósforo; *Gigaspora margarita* fue el hongo menos infectivo; y *Glomus mosseae* intermedio (Geddeada, 1983)

Plantas de manzano propagadas *in vitro* de los clones Malling Merton III (MM. III) y Malling 7 (M.7) e inoculadas con *Glomus epigaeum* presentaron diferencias altamente significativas en relación al control. El peso de las plantas del clon M.7 micorrizadas fue 1.7 más grande que los controles. De igual forma el área foliar y peso seco de las hojas fue 1.9 más grandes que la registrada en los

controles e incluso la del clon MM. 111 (Granger, *et al.* 1983).

Se realizaron experimentos de invernadero con la finalidad de evaluar los efectos de cinco cepas de endomicorri<sub>z</sub>a sobre el crecimiento de plantas de manzano (*Malus domestica* cv. Beautiful Arcade), y fresa (*Fragaria x ananassa*, cv. Redcdat). De los 5 inóculos empleados, 4 fueron bien identificados: *Gigaspora calospora*, *Glomus epigaeus*, *Glomus macrocarpum* y *Glomus monosporum*. Los resultados indican que los hongos produjeron diferentes efectos de acuerdo a la planta huésped. No se encontró correlación entre el porcentaje de colonización de la raíz y la estimulación del crecimiento en el caso de la fresa. Contrariamente, se determinó una correlación significativa (nivel del 1%) en el caso de plantas de manzano. No se observó especificidad fungal del endófito para las plantas hospederas (Plenchette, *et al.* 1982).

La fertilización de plántulas de manzana (*Malus sp.*) con 5 ppm de zinc, aumentó el peso de la planta ligeramente y la concentración de Zn después de 70 días. La inoculación de plántulas con *Glomus mosseae* o *G. fasciculatum* sin la fertilización de zinc, incrementó el peso de la planta pero no la concentración de Zn (Benson, *et al.* 1976).

Plantas de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) fueron colonizadas por *Glomus fasciculatum*. Posteriormente, al evaluar la concentración de fósforo foliar, las plantas micorrizadas presentaron altas concentraciones de P en relación a las plantas testigo. En otro tratamiento, plantas fertilizadas con 22 y 44 ppm de P e inoculadas con *Glomus fasciculatum* afectaron significativamente la colonización micorrízica, incluso la absorción de P total fue mayor en las plantas con micorriza y sin fertilización (Hughes, *et al.* 1979).

Plantas de frambuesa roja (*Rubus idaeus*, cv. Bois Blanch) cultivadas *in vitro*, fueron inoculadas con *Glomus tenuis* al momento del trasplante de los tubos de cultivo a suelo. Los niveles de colonización fueron altos (80-90%). El peso seco de los renuevos fue incrementado por este en dófito. En general, las plantas micorrizadas fueron más vigorosas y más uniformes en tamaño que los controles. En otros tratamientos *Glomus mosseae* y *G. fasciculatum* incrementaron el peso seco de los renuevos de plantas de frambuesa cultivar Nagymarosi por 53 y 130%, respectivamente. Estos resultados muestran claramente la ventaja potencial de emplear cepas de endomicorriza para mejorar el establecimiento y crecimiento de frambuesa propagada axenicamente después del trasplante (Morandi, *et al.* 1979).

Con la finalidad de evaluar el efecto de la inoculación de una cepa de endomicorriza sobre la nutrición mineral de plántulas de fresa, Holevas (1966) diseñó un experimento con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, los que se enlistan a continuación:

1. Plantas control creciendo en suelo deficiente en fósforo
2. Plantas control más fósforo soluble
3. Plantas inocuadas con micorrizas creciendo en suelo deficiente en fósforo
4. Plantas micorrizadas más fósforo soluble

Al analizar los resultados encontró que las plantas con el tratamiento 3 estimularon significativamente la absorción de P y la cantidad de materia seca fue mayor que el de las plantas control; estas últimas mostraron deficiencias de P. No se encontraron diferencias significativas en la absorción de fósforo entre plantas micorrizadas y fertilizadas.

Sergeeva, *et al.* (1973) trabajaron constantemente por espacio de tres años con plantas de fresa cv. Festival naya. Dos años después de la siembra las plantas presentaron una gran diversidad de hongos micorrízicos, siendo más abundante durante la floración y la fructificación. Las plantas de fresa presentaron gran lozanía y vigor. En cuanto a la producción, ésta se incrementó hasta tres veces más en comparación con las no micorrizadas.

Deal, *et al.* (1972) mencionan que *Endogone sp.* (ahora *Glomus sp.*) colonizó las raíces de plántulas de vid a los 15 días después de haber sido propagadas en los viñedos. La dinámica de la colonización permitió un mayor crecimiento, mayor número de renuevos, y sobre todo la producción de frutos fue altamente significativa, tanto en cantidad como en calidad. La aplicación de fertilizante fosfatado al suelo inhibió la ocurrencia e intensidad de la micorriza.

Ramírez, *et al.* (1975) evaluaron la dinámica de colonización de tres especies de hongos endomicorrícicos y determinaron su influencia en el desarrollo de *Carica papaya* L. cv. Solo, en suelos fertilizados y no fertilizados. Sus resultados obtenidos son los siguientes: siete días después de la inoculación, el 50% y 43% de las esporas de *Gigaspora calospora* y *Glomus macrocarpum*, respectivamente, habían germinado, pero no se detectó colonización en las raíces. A los catorce días habían germinado un 85 y 75% de las esporas de *Gigaspora* y *Glomus macrocarpum*, respectivamente. A los 21 días fue considerable el micelio formado alrededor y sobre las raíces de plantas de papaya, pero únicamente unas pocas raíces fueron penetradas por el hongo. A los 28 días después de la inoculación, *Gi. calospora* produjo vesículas equinuladas en racimos sobre la superficie de las raíces, y *G. macrocarpum* produjo vesículas internas en las raíces. A los 35 días, micelio y vesículas aún estuvieron

presentes y las esporas de *Gi. calospora* y *G. macrocarpum* se incrementaron. Las tres cepas de endomicorriza no estimularon el crecimiento de las plantas de papaya en suelos no esterilizados, pero cuando las plantas fueron fertilizadas con solución de Hoagland las cepas de *Gi. calospora* y *G. macrocarpum* dieron como resultado plantas significativamente más altas que las inoculadas con *Gigaspora heterogama* o las no inoculadas.

Por otro lado, Janos (1980) encontró que las plantas de papaya inoculadas con endomicorrizas V-A, tuvieron mayor capacidad de soportar condiciones ambientales extremas desfavorables (por ejemplo, sequía) que aquellas con raíces no micorrizadas, pese a esto, el autor clasifica a la papaya como una especie facultativamente micotrófica.

También se ha podido observar una marcada influencia de las micorrizas en el crecimiento del aguacate como en el experimento realizado por Menge, *et al.* (1978) sobre plántulas de aguacate var. Topa-Topa, en el cual encontraron que la inoculación produjo plantas 30% más grandes que las no inoculadas con el hongo *Glomus fasciculatum*, esta diferencia en tamaño la atribuyen a la mayor absorción de algunos nutrimentos por las plantas micorrizadas.

Menge, *et al.* (1980) en un estudio en aguacate vc. Topa-Topa con seis diferentes tratamientos de fertilización y dos cepas aisladas de *Glomus fasciculatum*, encontraron

que las plantas micorrizadas crecieron 49-254% más grande que las no micorrizadas (excepto a dosis muy elevadas de fósforo). Una de las cepas aisladas incrementó la absorción de N, P y Cu. La otra cepa, además de incrementar la absorción estos nutrimentos, también estimuló la absorción de Zn. Los incrementos mencionados se observaron en todos los tratamientos.

Dharmaraj e Irulappan (1982) hicieron un experimento para probar el efecto del hongo *Glomus fasciculatum* sobre el crecimiento de plántulas de aguacate con aplicación de fertilizante fosfatado. La mayor altura de las plántulas se obtuvo colocando el inóculo + 1.25 g de superfosfato a 2.5 cm debajo de la superficie del suelo. Las unidades experimentales a los que se aplicó este tratamiento tuvieron una altura de 58.59 cm contra 27.61 cm del control 4 meses después de la inoculación, lo cual representa un incremento de 112.15% en altura de las plántulas inoculadas. El mismo tratamiento proporcionó la mejor media para todos los tratamientos excepto para el diámetro del tallo en que fue el segundo, superado por el tratamiento que incluía solo la inoculación con micorriza a 5 cm de la superficie del suelo (sin superfosfato).

Otros autores como Mataré y Hatting (1978) han encontrado que las micorrizas estimulan el crecimiento de plántulas de aguacate tanto en presencia como en ausencia de *Phytophthora cinnamomi*.

### 3.1.8. Empleo de la endomicorriza V-A a nivel de vivero

Uno de los factores de manejo inadecuado más frecuente en los huertos frutícolas en la plantación de plantas con deficiencias nutrimentales propagadas en vivero. Es práctica común en los viveros comerciales fumigar con pesticidas para obtener plantas libres de patógenos. De esta forma se eliminan también los hongos benéficos, dando como resultado plantas de vivero sin micorriza, que después de ser trasplantadas a sitios permanentes son lentas para establecerse y tienen una alta probabilidad de morir, especialmente en condiciones ambientales adversas. Para eliminar parcialmente estos síntomas de deficiencia, es necesario fertilizar abundantemente con NPK, incrementándose de esta forma los costos de producción de los frutales. Otra alternativa confiable en la tecnología de viveros es el uso de las endomicorrizas vesículo-arbusculares, ya que son capaces de incrementar la tasa de crecimiento y mejorar la nutrición mineral de la planta, principalmente en suelos pobres (Vander Zaag, *et al.* 1979).

La fumigación de invernaderos y viveros para contrarrestar la incidencia de hongos fitopatógenos en el sistema radicular de las plantas, ha ocasionado la eliminación parcial o total de los hongos endomicorrízicos, lo que ha repercutido en un pobre desarrollo de la planta manifestado por clorosis y enanismo. Tales síntomas pueden ser corre-

gidos con la inoculación de cepas altamente efectivas e infectivas de hongos endomicorrízicos V-A (Hall, 1980).

Plantas de cítricos de poco desarrollo y con síntomas de deficiencia están asociadas con la ausencia de hongos micorrízicos en suelos fumigados; con el agregado a este suelo de 32 esporas de *Glomus fasciculatum*, se consiguió que las plantas tratadas de limón rugoso presentarán un mayor tamaño, del orden del 227.4% comparadas con las no inoculadas, lo cual se debe a que los hongos endomicorrízicos estimularon la mayor absorción de macronutrientes y también elementos menores. Esto fue corroborado en el análisis del porcentaje de fósforo, que dió 0.278% para las plantas micorrizadas, en cambio en plantas no micorrizadas fue de 0.168%. También presentaron las plantas micorrizadas color de follaje verde intenso, mayor superficie foliar, como así también una notable diferencia en el desarrollo radicular (Ferreira, *et al.* 1982).

Kleinschmidt y Gerdemann (1972) al experimentar con cítricos observaron que cuando éstos crecían en suelos fumigados presentaban poco desarrollo y deficiencias nutricionales; cuando se les hizo un estudio para detectar la micorriza (V-A) se encontraron carentes de esta asociación, posteriormente las plantas fueron inoculadas con *Endogone mosseae* (ahora *Glomus mosseae*) y el aspecto raquíptico y la sintomatología de deficiencias desapareció aumentando su

crecimiento en forma notoria en comparación con las no inoculadas.

En un experimento de invernadero el hongo micorrízico *Glomus fasciculatum*, incrementó significativamente el crecimiento de plántulas de Citrange troyer en 20 y 26 suelos de California, fumigados con Bromuro de Metilo. De los 6 suelos, en los cuales *G. fasciculatum* no incrementó el crecimiento, 2 eran de suelo de invernadero, 3 de vivero, y 1 de suelo de campo. Los resultados demostraron que este hongo incrementó la concentración foliar de P, K y Cu, pero disminuyó la concentración foliar de Mg y Na de Citrange troyer en la mayoría de los 26 suelos estudiados. Una correlación positiva fue observada entre: concentración foliar de Mg en plántulas no micorrizadas y la dependencia micorrízica. Esta última fue también positivamente correlacionada con el pH del suelo e inversamente correlacionada con el fósforo extractable del suelo, zinc, manganeso, cobre, porcentaje de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (Menge, et al. 1982).

Timmer y Leyden (1978a) al inocular plántulas de naranjo agrio (*Citrus aurantium*) con *Glomus fasciculatum*, las cuales presentaban atrofia vascular después de haber sido fumigados los plantíos donde ellas crecían, cuantificaron un incremento en peso del 300% y una mayor absorción de P foliar. De esta forma queda demostrada la importancia

vital de las endomicorrizas en la nutrición mineral de las plantas.

La fumigación de plantíos con bromuro de metilo, diti-carbonato N-metil de sodio, y tratamiento con calor eliminó temporalmente a *Phytophthora parasitica* de muchos viveros, previniendo el "Damping-off" de plántulas de *Citrus aurantium*. La aplicación de 500 a 750 kg de P/ha estimuló el crecimiento de las plántulas. Sin embargo, se obtuvieron plántulas más vigorosas y más sustentadas nutricionalmente al ser inoculadas con cepas de hongos endomicorrízicos V-A (Timmer y Leyden, 1978b).

Al inocular con *Glomus mosseae* a plántulas de manzano (*Malus domestica* B.) creciendo en 3 de 5 suelos de huerto fumigados y sin fósforo suplementado, se incrementó su crecimiento. La micorriza mejoró el crecimiento de las plántulas en únicamente un suelo recibiendo P adicional. El incremento de 100 a 200 mg de P kg/suelo, mejoró el crecimiento de plantas de manzano no micorrizadas en 4 de los 5 suelos probados. Sin embargo, la adición de P no fue tan eficiente en promover un gran tamaño, número de hojas y volumen radical, como la inoculación con *Glomus mosseae*. Al incrementar la concentración de P, el porcentaje de colonización de las raíces de las plantas micorrizadas decreció (Hoeffner, *et al.* 1983).

La inoculación de *Glomus mosseae* a suelo fumigado de plantaciones de manzana, incrementó su altura, el peso seco, y los niveles de fósforo. Plantas no micorrizadas exhibieron un 25% de respuesta de crecimiento a fósforo y alcanzaron su tamaño máximo a 200 mg de P/kg de suelo. Las plantas micorrizadas exhibieron menor respuesta de crecimiento a fósforo, pero crecieron y desarrollaron mejor que los controles (78.0 por 67.9 cm). El crecimiento más notable de las plantas micorrizadas se observó con la adición de 100 a 200 mg de P/kg de suelo (Koch, *et al.* 1982).

Plántulas de durazno presentaban severos síntomas de deficiencia de zinc, al ser inoculadas con esporas de *Endogone sp.* (ahora *Glomus sp.*) desinfectadas de la superficie con Cloramina T, crecieron más grandes y las deficiencias de Zn fueron completamente eliminadas (Gilmore, 1971). De igual forma, al inocular esporas de *Glomus fasciculatum* a plántulas de durazno con síntomas de deficiencia de P y de Zn, mostraron mejoría, mayor crecimiento y lozanía (La Rue, *et al.* 1975).

Plantas de durazno creciendo en suelo fumigado con bromuro de metilo-cloropicrina, presentaron atrofia vascular caracterizada por enanismo y clorosis; este pobre crecimiento fue atribuido, aparte de la eliminación de endomicorrizas, a grandes deficiencias de fósforo y niveles marginales de cobre, y zinc. Estos resultados indican que

la eliminación de los hongos endomicorrízicos es el factor primario de la fumigación, con la subsecuente atrofia de las plantas (Lambert, *et al.* 1979).

González (1986) evaluó el efecto de tres hongos endomicorrízicos en cuatro cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) provenientes del cultivo *in vitro* a nivel de vivero. Los hongos micorrízicos empleados fueron efectivos para incrementar el crecimiento de las plantas. El cv Aiko dió como resultado un incremento de altura promedio de 4.2 cm, el cv Douglas de 3.6 cm, el cv Pajaro de 4.5 cm y el cv Tioga de 5.6 cm al ser inoculados, a diferencia de los testigos que dieron incrementos de 1.8, 1.1, 1.6, y 1.4 cm respectivamente. En lo que se refiere a la formación de estolones, *Glomus sp.* CPH-23 estimuló la formación de la longitud de éstos en tres cultivares; cv Aiko (17.6 cm); cv Pajaro (12.9 cm); cv Tioga (31.6 cm). Las plantas testigo no formaron estolones. También se obtuvieron excelentes rendimientos con *Glomus macrocarpum* en el cv Tioga (80.9 g/planta) en comparación con el testigo que no produjo ningún fruto.

## IV. MATERIAL Y METODOS

El experimento se realizó en las instalaciones de la Sección de Microbiología del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados en Chapingo, México.

La realización de la presente investigación constó de cuatro fases llevadas a cabo en el laboratorio y vivero:

FASE I. Aislamiento, propagación, identificación y evaluación de cepas de endomicorriza V-A.

Las cepas de hongos endomicorrízicos que se emplearon para inducir la colonización micorrízica en el sistema radical de *Carica papaya*, provienen de 8 regiones productoras de frijol del Estado de Zacatecas (Fig. 6). Los criterios de muestreo se basaron principalmente en los de Bohn (1979), González y Barrios (1983). Las muestras de suelo de rizosfera se tomaron con un tubo de metal de 3 cm de diámetro interno y 10 cm de longitud, introduciéndolo en forma vertical y cercana al vástago de las plantas; se obtuvieron dos muestras de 1/2 kilogramo aproximadamente en los primeros 10 y 20 cm de profundidad. Para la evaluación micorrízica nativa se tomaron muestras de raíz de las leguminosas, variando la forma de obtención de acuerdo a la topografía, profundidad del suelo y estado de desarrollo de la planta. Cuando las plantas se encontraron en terreno plano y poco profundo se empleó el método del sector descrito por Bohn (1979), que consiste en escarvar a una profundidad de 30-40 cm en un radio de 1 m al

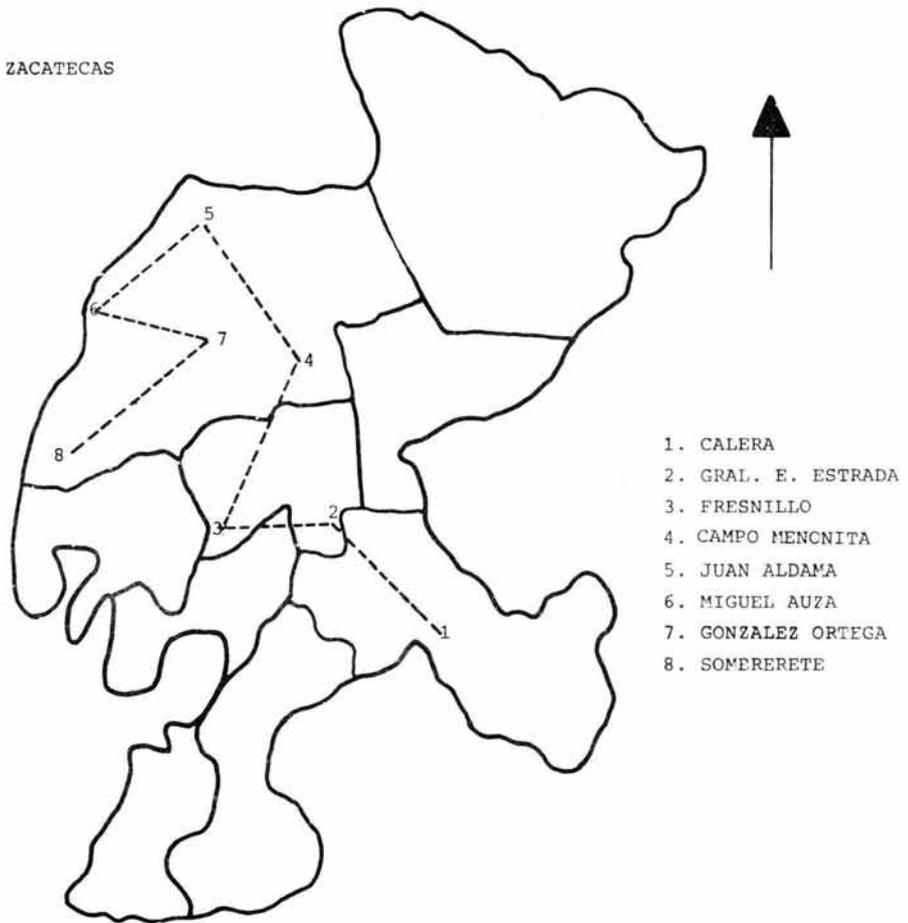


FIG. 6 . UBICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN EL ESTADO DE ZACATECAS, MEXICO.

rededor de la planta. De esta forma, se extrae el sistema ra  
dical completo y sin daño. Al momento de cosechar las plan-  
tas de frijol, sus raíces se conservaron en bolsas de plásti-  
co, para luego ser fijadas en FAA (Formol-Acido acético-Al-  
cohol) (Apéndice A-1).

La colonización micorrízica nativa se evaluó en el labo-  
ratorio con la técnica de Phillips y Hayman (1970), que con-  
siste en examinar microscópicamente muestras de raíz teñidas  
que previamente son clareadas con KOH al 10%, se elimina el  
KOH y las raíces son lavadas con agua corriente. Posterior-  
mente son sumergidas en solución alcalina de  $H_2O_2$  al 10% por  
tres minutos e inmediatamente acidificadas con HCL diluido  
(10%). La tinción se realizó agregándoles Azul tripano  
(0.5%) en lactoglicerol (Apéndice A-2 y A-3) y calentándolas  
por 10 minutos a 10 libras de presión. Para eliminar el ex-  
ceso de colorante se añadió lactoglicerol limpio. La evalua-  
ción de los porcentajes de colonización se realizó al micros-  
copio a 100X, realizando tres pasajes equidistantes sobre  
cuatro portaobjetos cada uno con 25 segmentos de raíz.

El suelo nativo fue propagado en plantas de *Allium cepa*.  
Durante 4 meses, se evaluó el desarrollo de éstas y posterior-  
mente se determinó su porcentaje de colonización micorrízica  
y número de esporas, las cuales fueron extraídas, al pasar  
una suspensión de suelo (100 g) a través de una serie de tami-  
ces graduados (Gerdemann y Nicolson, 1963). Al momento de  
contabilizar el número de esporas, éstas fueron diferenciadas

morfológicamente, seleccionadas y mantenidas en frascos viales con solución Ringer y estreptomina, bajo los siguientes criterios taxonómicos: tamaño, forma, color, contenido citoplasmático, estructura superficial y modo de unión a la hifa de sustentación (Gerdemann y Trappe, 1974; Nicolson y Schenk, 1979; Azcón-G y Barea 1980; Schenk y Smith, 1982; Trappe, 1982).

De los 24 sitios muestreados en 8 zonas productoras de frijol, 18 cepas de endomicorriza vesículo-arbuscular (V-A) fueron aisladas e identificadas en el laboratorio como:

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <i>Glomus</i> sp. Zac-1    | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    |
| <i>Glomus</i> sp. Zac-2    | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    |
| <i>Glomus</i> sp. Zac-3    | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    |
| <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    |
| <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 |
| <i>Glomus</i> sp. Zac-6    | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    |
| <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    |
| <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    |
| <i>Glomus</i> sp. Zac-9    |                             |
| <i>Glomus</i> sp. Zac-10   |                             |

Posteriormente estas 18 cepas fueron propagadas en plantas de *Medicago sativa* var. Oaxaqueña, con la finalidad de purificarlas. Tres meses después de haber sido sembradas, las plantas fueron cosechadas y se evaluó el porcentaje de colonización y su número de esporas producidas, esto fue con la finalidad de tener un control de calidad de su efectividad e infectividad. Finalmente, éstas 18 cepas de endomicorriza fueron inoculadas en plántulas de *Allium cepa* para corroborar su pureza y calidad. Al momento de propagar las esporas, fueron esterilizadas de la superficie con Cloramina T

al 0.02% (Mosse y Phillips, 1971), para permitir su multiplicación y evitar su contaminación por posibles patógenos adheridos a su superficie. Las plantas de cebolla crecieron en macetas de 1 kg de capacidad, conteniendo suelo fumigado y 660 esporas por cepa de endomicorriza + 3 g de raíz colonizada (90%). Durante 4 meses las plantas se desarrollaron en invernadero regándose con agua destilada y posteriormente con solución nutritiva de Long Ashton deficiente en fósforo (al mes de emergidas las plántulas). A los cuatro meses sus raíces fueron cosechadas y procesadas químicamente, evaluándose su colonización que fue de 100% y junto con el suelo de las macetas fueron utilizadas como inóculo (100 g suelo conteniendo 660 esporas) para las plántulas de papaya.

FASE 2. Susceptibilidad de *Carica papaya* cvs. cera y solo a la inoculación endomicorrízica

Procedencia, selección y tratamiento de las semillas

La semilla de papaya del cultivar cera es originaria del Estado de Veracruz, México. El productor Jacobo García Barradas proporcionó la semilla de este cultivar. Su finca se localiza en el municipio de Actopan, localidad Idolos Veracruz, México. En cuanto a la semilla de papaya del cultivar solo es originaria de Hawaii. En la actualidad es cultivada en pequeñas áreas en Veracruz. Esta semilla fue proporcionada por el productor Gregorio Solano. Su finca se encuentra establecida en el Municipio de Paso de Ovejas, Localidad Tamarindo, Veracruz, México. Al seleccionar la semilla, se consideraron

los siguientes criterios; las semillas tuvieron igualdad de origen, ya sea regional, de huerto o de árbol. Las semillas provenían de plantas madres sanas y vigorosas, y de frutos totalmente desarrollados y maduros con buenas características en tamaño, forma y sobre todo en sabor. Una vez que las semillas fueron desprendidas del fruto, fueron remojadas por 36 horas en agua para eliminar la sarcotesta, después se pusieron a secar al aire, con la finalidad de acelerar la germinación (Mosqueda, 1969). Las semillas se sembraron en camas de germinación de 40 x 28 cm. Al momento de la siembra, la semilla fue tratada con Arasan al 2%.

#### Suelo, preparación de macetas, trasplante e inoculación

El suelo empleado es de los terrenos de Lomas de San Juan, Municipio de Texcoco, México. Este suelo es deficiente en fósforo y muy pobre en materia orgánica (Apéndice A-4). El suelo fue tamizado para evitar la presencia de basura y otros agregados, y se mezcló con arena de río y materia orgánica en proporción 2:1:1. La mezcla fue fumigada con Bromuro de metilo. Para tal efecto, el suelo se extendió con un espesor aproximado de 20-25 cm, procurando humedecerlo antes de la aplicación. Posteriormente se mantuvo tapado con polietileno durante 72 horas y destapándose 1 semana antes de ser utilizado en vivero con la finalidad de permitir la aireación. Se emplearon bolsas de polietileno negras de 24 X 12 cm, con capacidad de 1 kg, cada bolsa fue perforada con ocho agujeros de diámetro aproximado de 0.5 cm, con el fin de per

mitir el drenaje. Las bolsas fueron desinfectadas con alcohol y algodón en su parte interior y el fondo. Después de la germinación en los semilleros, las plántulas con mismo grado de desarrollo y altura fueron trasplantadas a las bolsas, dejando una plántula por bolsa. En cuanto a la inoculación, previamente se pesaron 10 g de suelo inóculo conteniendo 660 esporas + 3 g de raíz colonizada (100%) de cada cepa identificada y se colocaron en bolsas de polietileno, sellándose y rotulándose. La inoculación fue al momento del trasplante de las plántulas de papaya a las bolsas. El suelo inóculo fue esparcido en la zona inmediata al sistema radical; mientras que el inóculo de raíces se colocó sobre la superficie del sistema radical de las plántulas.

#### Descripción de tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se designaron de acuerdo a los objetivos planteados y se presentan en el Cuadro 1. El diseño fue completamente al azar con 20 tratamientos y 5 repeticiones/tratamiento, para cada uno de los cultivares cera y solo.

#### Evaluación de variables y análisis estadístico

Cada 15 días se hicieron mediciones de la altura de las plantas con una regla graduada en cm, el diámetro del tallo se midió con un vernier, y el número de hojas. Al final del experimento se determinó; área foliar, volumen radical, peso seco total, porcentaje de colonización micorrízica (Phillips y Hayman, 1970), y el número de esporas. Estas 8 va-

Cuadro 1. Relación de tratamientos ensayados en *Carica papaya* cultivares cera y solo.

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Repeticiones | Cultivar |
|--------------------|-----------------------------|--------------|----------|
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 5            | Cera     |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 5            | Cera     |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 5            | Cera     |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 5            | Cera     |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 5            | Cera     |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 5            | Cera     |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 5            | Cera     |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 5            | Cera     |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 5            | Cera     |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 5            | Cera     |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 5            | Cera     |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 5            | Cera     |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 5            | Cera     |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 5            | Cera     |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 5            | Cera     |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 5            | Cera     |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 5            | Cera     |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 5            | Cera     |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 5            | Cera     |
| 20                 | TESTIGO                     | 5            | Cera     |
| 21                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 5            | Solo     |
| 22                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 5            | Solo     |
| 23                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 5            | Solo     |
| 24                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 5            | Solo     |
| 25                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 5            | Solo     |
| 26                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 5            | Solo     |
| 27                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 5            | Solo     |
| 28                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 5            | Solo     |
| 29                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 5            | Solo     |
| 30                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 5            | Solo     |
| 31                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 5            | Solo     |
| 32                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 5            | Solo     |
| 33                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 5            | Solo     |
| 34                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 5            | Solo     |
| 35                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 5            | Solo     |
| 36                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 5            | Solo     |
| 37                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 5            | Solo     |
| 38                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 5            | Solo     |
| 39                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 5            | Solo     |
| 40                 | TESTIGO                     | 5            | Solo     |

riables fueron analizadas estadísticamente mediante un programa de SAS 82.2B, obteniéndose el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Tukey (Separación de medias de tratamientos). Dichas pruebas fueron realizadas en el Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

En resumen, durante la fase 1 se probaron 18 cepas de endomicorriza vesículo-arbuscular provenientes del Estado de Zacatecas en plantas de papaya, variedades cera y solo. Además, se utilizó una cepa de *Glomus fasciculatum* que fue aislada e identificada en Oregón, Estados Unidos. El empleo de esta cepa fue con la finalidad de tener un patrón comparativo de referencia en cuanto a efectividad e infectividad de las cepas de endomicorriza nacionales. Durante el transcurso y finalización de esta fase, se obtuvo la suficiente información que nos permitió seleccionar la mejor cepa infectiva de endomicorriza para *Carica papaya* cultivar cera.

### FASE 3.

Durante esta fase, se comparó y evaluó el efecto de la fertilización a diferentes niveles de NPK en relación con el aporte de P, estimulación de N y posible efecto protector contra K proporcionado por la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 en el sistema radical de plantas de papaya cultivar cera.

#### Siembra de la semilla

El sustrato que se utilizó para sembrar las semillas de

papaya fue una mezcla de suelo y arena de río (1:2) esterilizada en autoclave por tres horas a  $1.3 \text{ Kg/cm}^2$ . Se emplearon camas de germinación de 40 X 28 cm previamente desinfectadas con formaldehído 0.1% y alcohol. Al momento de la siembra la semilla fue tratada con Arasan al 2%.

#### Suelo y preparación de macetas

El suelo que se utilizó es deficiente en fósforo y muy pobre en materia orgánica (Apéndice A-4). El suelo fue tamizado y mezclado con arena de río y materia orgánica en proporción 2:1:1. Después de ser mezclado fue fumigado con bromuro de metilo, y se mantuvo tapado con polietileno durante 72 horas, posteriormente fue destapado a los 7 días antes de ser ocupado en el vivero para permitir su aireación. Como macetas se ocuparon bolsas de polietileno negras de 25 X 30 cm, con capacidad de 5 kg de suelo, cada bolsa fue perforada con 10 agujeros de diámetro aproximado de 0.5 cm, con el fin de permitir el drenaje. Antes de ocupar las bolsas, fueron desinfectadas con alcohol y algodón en su parte interior y el fondo.

#### Trasplante, inoculación y fertilización

Las plántulas con diámetro de tallo de 1.0 a 2.0 mm, altura de 7 a 8 cm, y con 7 hojas fueron seleccionadas para trasplantarlas a bolsas de polietileno de 25 X 30 cm. Se trasplantó una plántula por bolsa. La inoculación y la fertilización se realizó al momento del trasplante. En cuanto a la inocula-

ción, se empleó la cepa de endomicorriza identificada como *Glomus* sp. Zac-19. Las plantas fueron inoculadas con 10 g de suelo inóculo que contenía 776 esporas, y 3 g de raíces colonizadas de cebolla con 100% de colonización. El suelo inóculo fue esparcido en la zona inmediata al sistema radical; mientras que el inóculo de raíces se colocó sobre la superficie del sistema radical de las plántulas. Con respecto a la fertilización, se emplearon como fuentes: Sulfato de Amonio ( $\text{NH}_3\text{SO}_4$  con 20.5% de N); Superfosfato de Calcio Simple ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_5)_2$ , con 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); y Cloruro de Potasio (KCl, con 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ). El sulfato de amonio fue adicionado a las dosis de 0, 182.5, y 365 mg/5  $\text{Kg}^{-1}$ , lo que equivale a aplicaciones de 0, 15, y 30 Kg de N/ha. El superfosfato de calcio simple fue adicionado a las dosis de 0, 125 y 250 mg/5  $\text{Kg}^{-1}$ , lo que equivale a aplicaciones de 0, 10 y 20 Kg de P/ha. El cloruro de potasio fue adicionado a las dosis de 0, 20 y 40 mg/5  $\text{Kg}^{-1}$ , lo que equivale a aplicaciones de 0, 5 y 10 Kg de  $\text{K}_2\text{O}$ /ha. El fertilizante se colocó a 10 cm de profundidad del sistema radical de las plántulas (Mosqueda, 1970).

#### Descripción de tratamientos

Los tratamientos se designaron de acuerdo a los objetivos planteados y se presentan en el Cuadro 2.

#### Instalación del experimento

Se empleó el diseño bloques al azar con 20 tratamientos y 5 repeticiones/tratamiento. El experimento se instaló en

Cuadro 2. Relación de tratamientos ensayados en *Carica papaya* cultivar cera.

| No. tratamiento | N - P - K                      | Kg/ha*             | Repeticiones |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------------|
| 1               | 00 -00 -00                     | (Testigo absoluto) | 5            |
| 2               | 00 -10 -00                     |                    | 5            |
| 3               | 15 -10 -00                     |                    | 5            |
| 4               | 30 -10 -00                     |                    | 5            |
| 5               | 15 -00 -00                     |                    | 5            |
| 6               | 15 -10 -00                     |                    | 5            |
| 7               | 15 -20 -00                     |                    | 5            |
| 8               | 15 -10 -00                     |                    | 5            |
| 9               | 15 -10 -05                     |                    | 5            |
| 10              | 15 -10 -10                     |                    | 5            |
| 11              | 00 -00 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 12              | 00 -10 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 13              | 15 -10 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 14              | 30 -10 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 15              | 15 -00 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 16              | 15 -10 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 17              | 15 -20 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 18              | 15 -10 -00 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 19              | 15 -10 -05 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |
| 20              | 15 -10 -10 + <i>Glomus sp.</i> | Zac-19             | 5            |

\*Se usaron tres niveles de nitrógeno que son 0, 15, y 30 Kg/ha, representados respectivamente por los tratamientos 2, 3 y 4; tres niveles de fósforo que son 0, 10 y 20 Kg/ha, representados respectivamente por los tratamientos 5, 6 y 7; tres niveles de potasio que son 0, 5 y 10 Kg/ha, representados respectivamente por los tratamientos 8, 9 y 10.

vivero en el mes de Julio de 1986.

#### Evaluación de variables y análisis estadístico

Cada 15 días se hicieron mediciones de la altura de las plantas usando una regla graduada en cm, el diámetro del tallo se midió con un vernier, y el número de hojas. Al final del experimento (a los tres meses) se determinó el área foliar, volumen radical, peso seco total, porcentaje de colonización micorrízica (Phillips y Hayman, 1970), y el número de esporas producidas (Gerdemann y Nicolson, 1963). Estas 8 variables fueron analizadas estadísticamente mediante un programa de SAS 82.2B, obteniéndose el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Tukey (Separación de medias de tratamientos). Dichas pruebas fueron realizadas en el Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

FASE 4. Dinámica de aparición de estructuras de endomicorri-za en *Carica papaya* cultivar cera.

#### Trasplante, fertilización e inoculación

Plántulas de papaya creciendo en camas de germinación fueron trasplantadas a bolsas de polietileno de 24 X 12 cm. Las bolsas fueron llenadas con una mezcla fumigada de suelo, arena, materia orgánica (2:1:1). La fertilización y la inoculación se realizó al momento del trasplante. Las plántulas fueron fertilizadas con 60 Kg de P/ha. El fertilizante se colocó a 10 cm de profundidad del sistema radical de las

plántulas. En cuanto a la inoculación, se empleó la cepa de endomicorriza *Glomus sp.* Zac-19. Las plántulas fueron inoculadas con 10 g de suelo inóculo que contenía 776 esporas más 3 g de raíces colonizadas de cebolla con porcentaje de colonización de 100%. El suelo inóculo se esparció en la zona inmediata al sistema radical; mientras que el inóculo de raíces se colocó sobre la superficie del sistema radical de las plántulas.

#### Descripción de tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se designaron de acuerdo a los objetivos planteados y son:

1. Plantas inoculadas con endomicorriza
2. " " " " + 60 Kg P/ha
3. " fertilizadas con 60 Kg P/ha
4. " testigo

El diseño fue completamente al azar con 4 tratamientos y 36 repeticiones por tratamiento.

#### Evaluación de variables

Al principio del experimento, se hicieron muestreos destructivos de 3 plántulas cada 3 días para precisar la aparición y frecuencia de las estructuras por medio del microscopio óptico, y determinar qué estructura endomicorrízica hacía su aparición primero. Una vez que se detectó la presencia de las estructuras, los muestreos se hicieron cada 7 días.

## V. RESULTADOS

Las respuestas de las plantas de papaya de ambos cultivos a la inoculación endomicorrízica, a continuación se presentan según las fases de trabajo realizadas para las variables altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, volumen radical, peso seco total, porcentaje de colonización endomicorrízica y número de esporas.

### 1. Susceptibilidad de *Carica papaya* cultivar cera y solo a la inoculación endomicorrízica

#### 5.1. Efecto de la inoculación endomicorrízica en el crecimiento de plantas de papaya

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya cultivar cera y solo a los 90 días de edad. La prueba de separación de medias de Tukey indicó que todos los tratamientos inoculados fueron significativamente diferentes al tratamiento no inoculado.

El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-1 y B-2) en el incremento de altura entre plantas inoculadas y no inoculadas. Los resultados observados fueron que plantas de papaya cultivar cera lograron un incremento de altura en base a controles de 360% con *Glomus* sp. Zac-19, 348% con *Gigaspora* sp. Zac-17 y de 330% con *Glomus* sp. Zac-10. Los tratamientos inoculados

Cuadro 3. Incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya cultivar cera y solo, inoculadas con 19 cepas de micorriza vesfculo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |        |
|--------------------|-----------------------------|--------------|--------|
|                    |                             | cera         | solo   |
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 295 f        | 321 c  |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 285 h        | 226 l  |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 276 f        | 229 ij |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 295 h        | 237 h  |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 276 f        | 206 m  |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 285 i        | 329 a  |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 266 bc       | 282 ef |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 295 f        | 221 kl |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 285 h        | 241 jk |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 330 i        | 301 c  |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 266 de       | 301 c  |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 290 bc       | 301 c  |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 295 bc       | 268 hi |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 280 gh       | 285 de |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 348 b        | 292 d  |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 285 f        | 217 m  |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 360 a        | 302 b  |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 285 ef       | 268 f  |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 352 bcd      | 291 g  |
| 20                 | Testigo                     | 100 j        | 100 n  |

Valores con la misma letra son estadfisticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

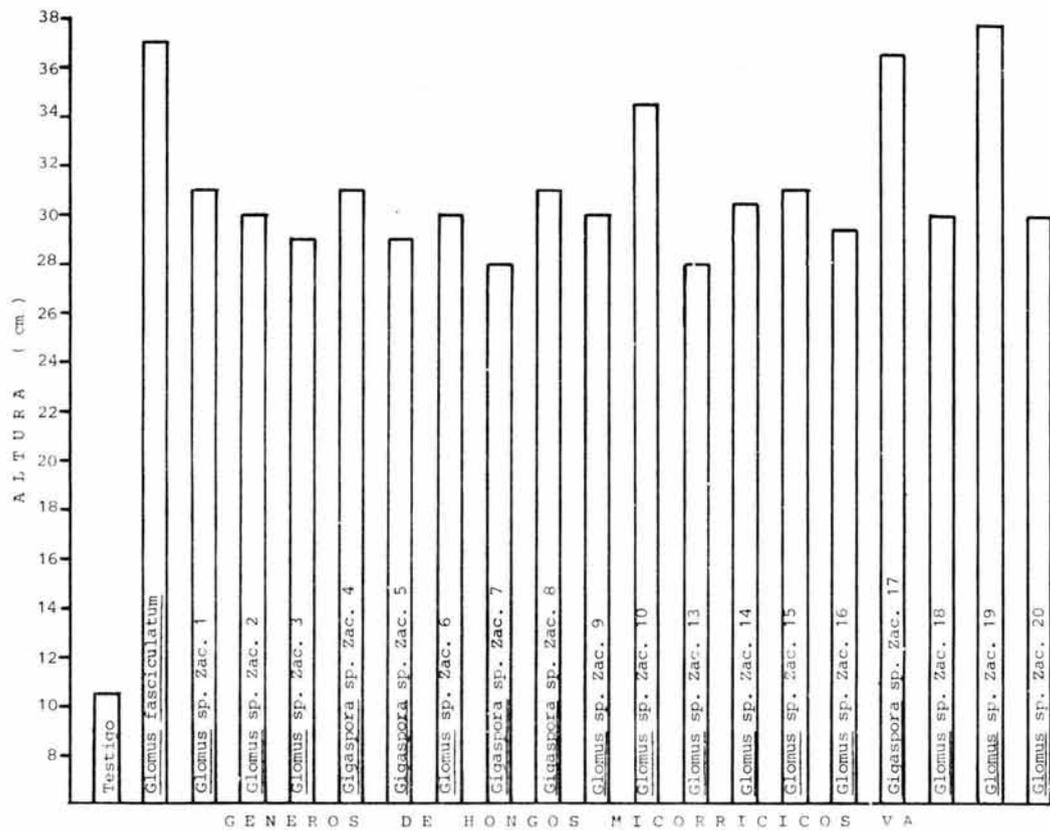


FIG. 8. ALTURA MEDIA EN CENTIMETROS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

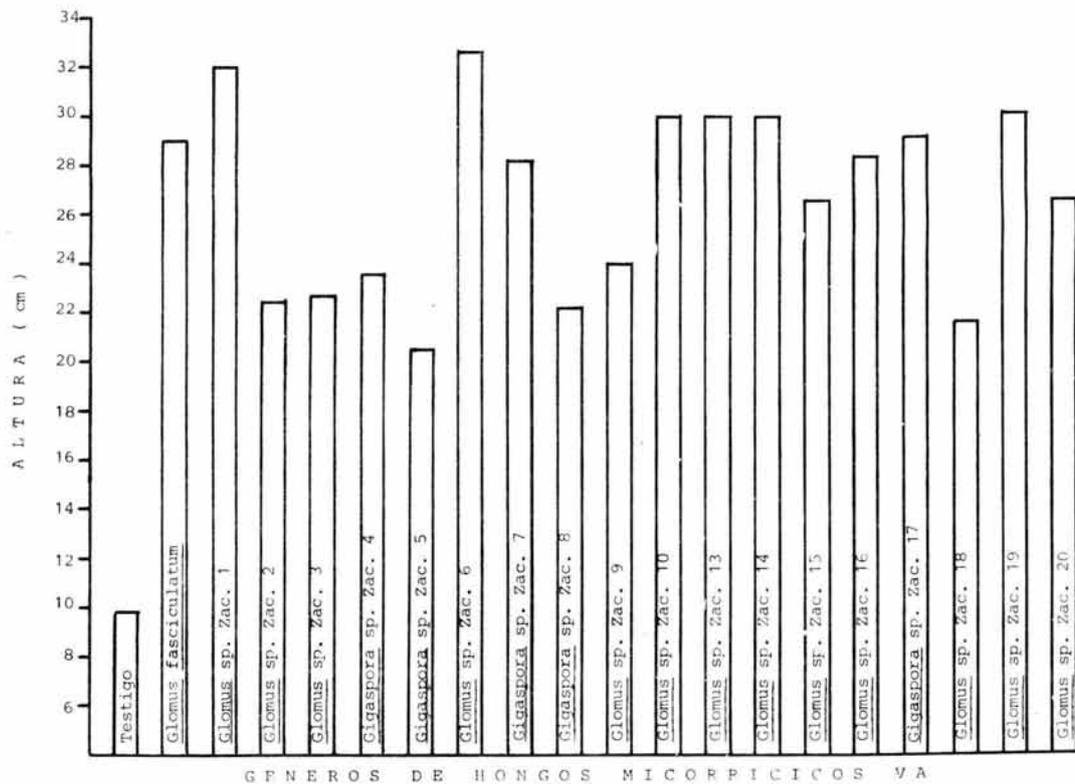


FIG. 9. ALTURA MEDIA EN CENTIMETROS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

con *Gigaspora* sp. Zac-7 y *Glomus* sp. Zac-13 no lograron incrementar en forma notoria el crecimiento de las plantas, pero sí causaron diferencias significativas en relación a las plantas no inoculadas (Fig. 8). Los más altos incrementos logrados en altura por plantas de papaya cultivar solo inoculadas fueron de 329% con *Glomus* sp. Zac-6 y 321% con *Glomus* sp. Zac-1. Las plantas inoculadas con *Glomus fasciculatum* alcanzaron una altura de 291%. El tratamiento inoculado con *Gigaspora* sp. Zac-5 logró un incremento de altura de 206%, por lo cual la prueba de Tukey indicó que estadísticamente fue el peor tratamiento de todos los que fueron inoculados, sin embargo, sí proporcionó diferencias estadísticas en comparación al tratamiento no inoculado (Fig. 9).

#### 5.1.2. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera y solo

En el Cuadro 4 se aprecia el efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el diámetro del tallo de plantas de papaya de ambos cultivares. La prueba de separación de medias de Tukey indicó que todos los tratamientos inoculados fueron significativamente diferentes al tratamiento no inoculado.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-3 y B-4) en el grosor del tallo entre plantas inoculadas y no inoculadas. Los mejores tratamientos en el cultivar cera fueron con los hongos *Glomus* sp. Zac-19 (10.5 mm), *Gigaspora* sp. Zac-17 (10.0

Cuadro 4. Diámetro del tallo en milímetros de plantas de papaya cultivar cera y solo de 90 días de edad, inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrizicos V-A.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Cavica papaya |        |
|--------------------|-----------------------------|---------------|--------|
|                    |                             | cera          | solo   |
| 1                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-1     | 9.7 f         | 7.9 b  |
| 2                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-2     | 9.4 gh        | 4.4 jk |
| 3                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-3     | 9.1 hi        | 4.4 jk |
| 4                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-4  | 9.7 f         | 4.6 ij |
| 5                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-5  | 9.1 i         | 4.3 e  |
| 6                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-6     | 9.3 hi        | 8.6 a  |
| 7                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-7  | 9.0 g         | 6.6 f  |
| 8                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-8  | 9.7 f         | 4.5 j  |
| 9                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-9     | 9.3 e         | 4.5 j  |
| 10                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-10    | 9.8 bc        | 7.9 b  |
| 11                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-13    | 9.0 hi        | 7.1 d  |
| 12                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-14    | 9.4 hi        | 7.1 d  |
| 13                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-15    | 9.7 c         | 4.9 h  |
| 14                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-16    | 9.2 i         | 5.6 g  |
| 15                 | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-17 | 10.0 b        | 7.6 c  |
| 16                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-18    | 9.3 i         | 4.4 jk |
| 17                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-19    | 10.5 a        | 7.8 b  |
| 18                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-20    | 9.5 i         | 4.8 hi |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 10.0 d        | 7.5 c  |
| 20                 | Testigo                     | 3.2 j         | 2.8 m  |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

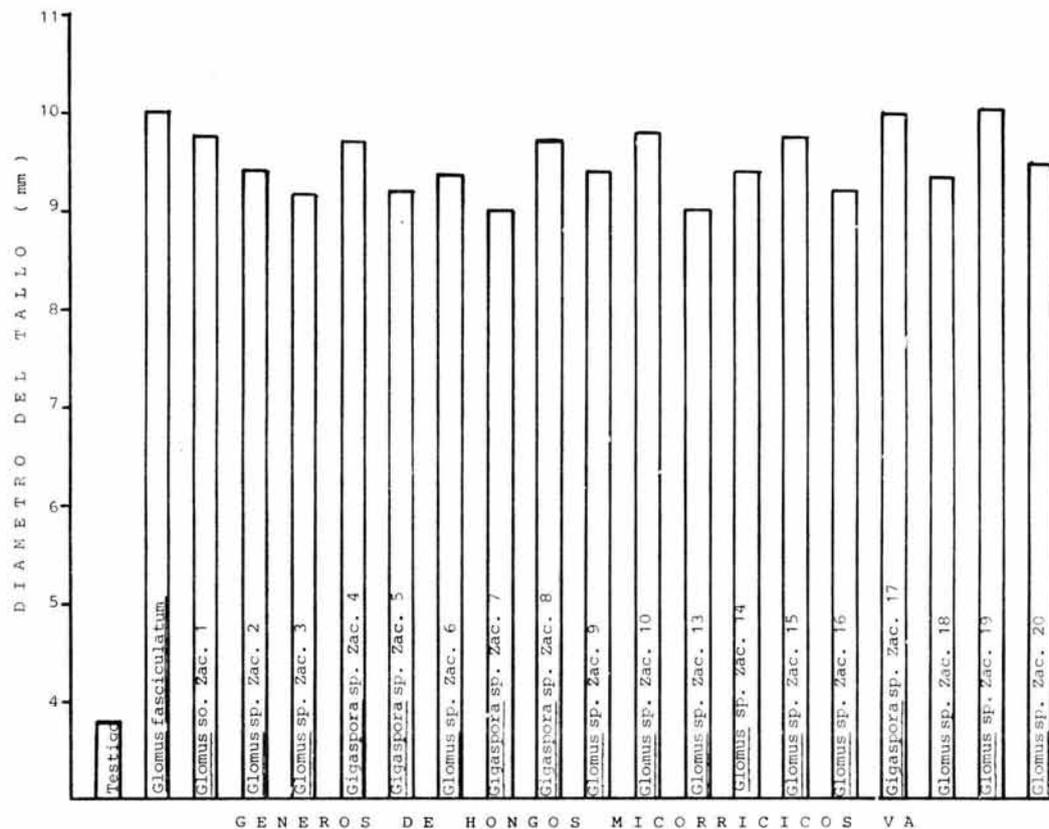


FIG. 10. DIAMETRO DEL TALLO EN MILIMETROS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

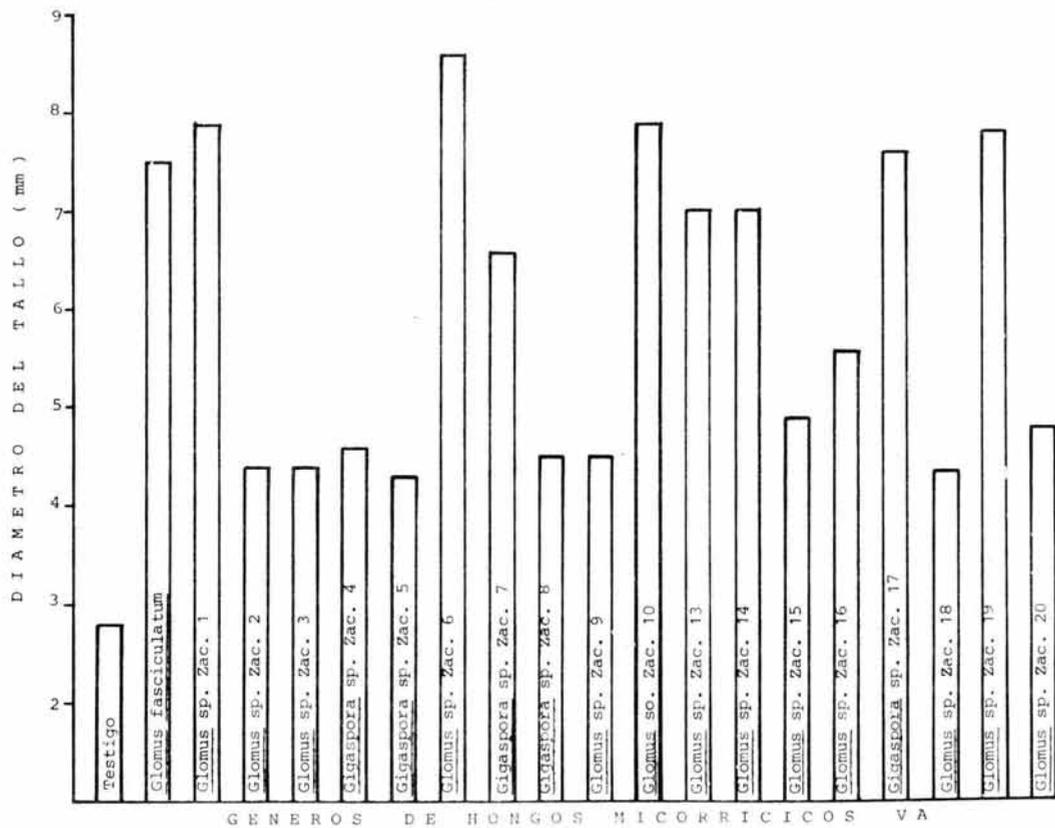


FIG. II. DIAMETRO DEL TALLO EN MILIMETROS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

mm) y *Glomus fasciculatum* (10.0 mm), por únicamente 3.2 mm del tratamiento no inoculado (Fig. 10). El mejor diámetro de tallo de plantas de papaya cultivar solo fue de 8.6 mm con *Glomus sp.* Zac-6; *Glomus sp.* Zac-1 (7.9 mm) y *Glomus fasciculatum* (7.5 mm), por 2.8 mm de las plantas no inoculadas (Fig. 11). En general todas las cepas de hongos endomicorrízicos causaron efectos diferentes sobre el diámetro del tallo de plantas de ambos cultivos.

### 5.1.3. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el número de hojas producidas en plantas de papaya cultivar ce ra y solo

El Cuadro 5 muestra el efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el número de hojas producidas en plantas de papaya cultivar ce ra y solo. La prueba de separación de medias por tratamiento indicó que todos los tratamientos inoculados fueron significativamente diferentes al tratamiento no inoculado, y que el beneficio de los hongos endomicorrízicos fue más notable en el cultivar solo.

El análisis de varianza realizado para esta variable mo stró que existen diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-5 y B-6) en el número de hojas producidas entre plantas inoculadas y no inoculadas. El número de hojas logrado por la inoculación de hongos endomicorrízicos en plantas de papaya cultivar ce ra fue de 77 con *Glomus sp.* Zac-19; 76 hojas con *Glomus sp.* Zac-10 y *Glomus sp.* Zac-18. Estos tres tratamientos resultaron ser estadísticamente igua-

Cuadro 5. Número de hojas producidas en plantas de papaya cultivar cera y solo, inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrizicos vesfculo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |        |
|--------------------|-----------------------------|--------------|--------|
|                    |                             | cera         | solo   |
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 60 ghij      | 68 hi  |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 69 fgh       | 71 ghi |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 71 def       | 67 ghi |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 74 bcde      | 74 def |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 71 def       | 69 ghi |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 72 efg       | 68 ghi |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 71 def       | 70 fgh |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 75 bcd       | 74 fgh |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 63 k         | 71 de  |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 76 ab        | 76 cd  |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 67 j         | 75 cd  |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 70 fgh       | 81 ab  |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 75 bcd       | 83 a   |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 63 k         | 72 efg |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 69 hij       | 80 bc  |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 76 ab        | 68 ghi |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 77 a         | 84 a   |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 68 ij        | 76 d   |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 74 cde       | 76 d   |
| 20                 | Testigo                     | 57 l         | 64 i   |

Valores con la misma letra son estadfisticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

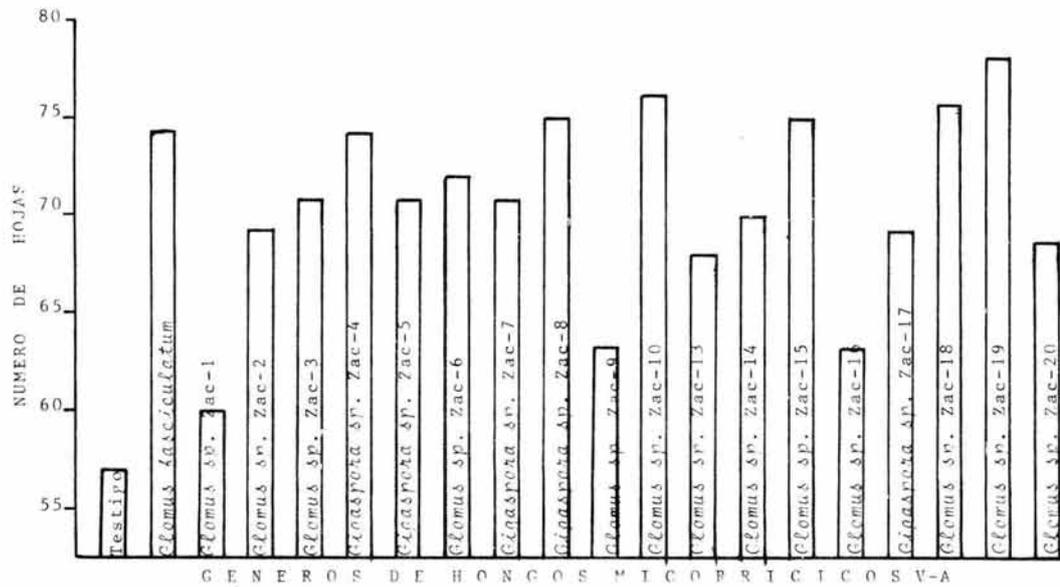


FIG. 12. NUMERO DE HOJAS DE PLANTAS DE PAPAIA CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

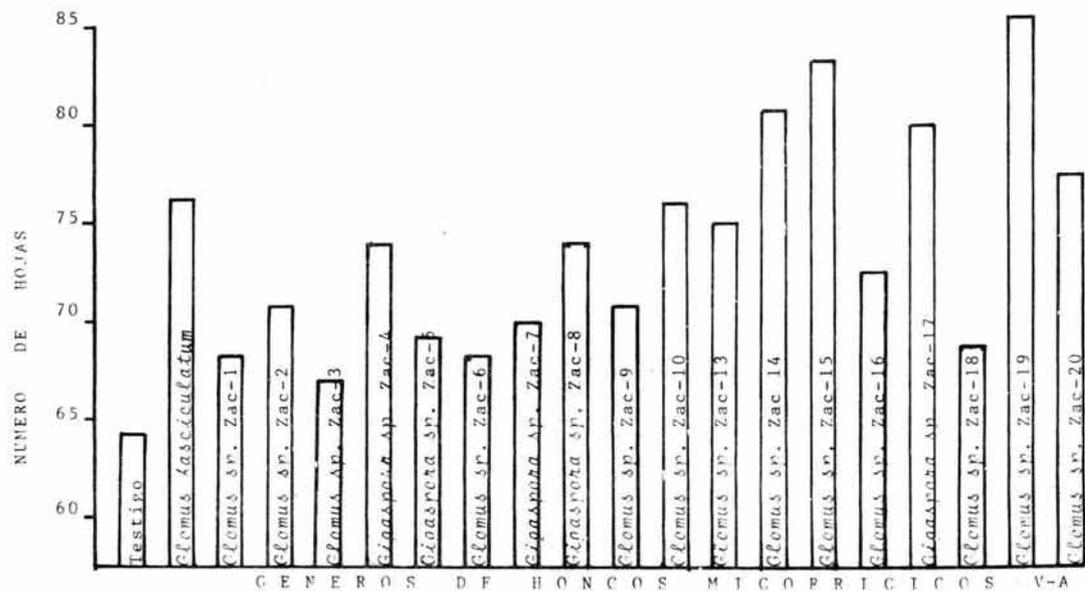


FIG. 13. NUMERO DE HOJAS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

les. *Gigaspora* sp. Zac-8 y *Glomus* sp. Zac-15 produjeron 75 hojas en las plantas que fueron inoculadas con estas dos cepas de hongos. Las plantas inoculadas con *Glomus fasciculatum* formaron 74 hojas. El peor tratamiento fue el testigo con 57 hojas producidas (Fig. 12).

Los mejores tratamientos que lograron estimular el mayor número de hojas en plantas de papaya cultivar solo fueron los inoculados con los hongos *Glomus* sp. Zac-19 (84 hojas), seguido de *Glomus* sp. Zac-15 (83 hojas), *Glomus* sp. Zac-14 (81 hojas), *Gigaspora* sp. Zac-17 (80 hojas) y *Glomus fasciculatum* (76 hojas). El tratamiento no inoculado únicamente produjo 64 hojas (Fig. 13).

#### 5.1.4. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el área foliar de hojas de plantas de papaya cultivar cera y solo

En el Cuadro 6 se exponen los resultados del efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el área foliar de hojas de plantas de papaya cultivar cera y solo. La prueba de separación de medias por tratamiento de Tukey indicó que todos los tratamientos que fueron inoculados con los hongos endomicorrízicos fueron significativamente diferentes al tratamiento no inoculado, y entre los tratamientos inoculados los mejores fueron con los hongos *Glomus* sp. Zac-18 y *Glomus* sp. Zac-6 en el cultivar cera y solo, respectivamente.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-7 y B-8) en el área fo-

Cuadro 6. Area foliar en centímetros cuadrados de plantas de papaya cultivar cera y solo, inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrizicos vesículo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |       |
|--------------------|-----------------------------|--------------|-------|
|                    |                             | cera         | solo  |
| 1                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-1     | 192 abc      | 174 c |
| 2                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-2     | 185 def      | 169 g |
| 3                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-3     | 187 cde      | 168 h |
| 4                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-4  | 190 bcd      | 168 h |
| 5                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-5  | 190 bcd      | 168 h |
| 6                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-6     | 190 bcd      | 180 a |
| 7                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-7  | 192 abc      | 172 e |
| 8                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-8  | 192 abc      | 169 g |
| 9                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-9     | 185 def      | 169 g |
| 10                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-10    | 195 ab       | 174 c |
| 11                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-13    | 180 fg       | 170 f |
| 12                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-14    | 190 bcd      | 170 f |
| 13                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-15    | 194 ab       | 172 e |
| 14                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-16    | 190 bcd      | 170 f |
| 15                 | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-17 | 194 ab       | 172 e |
| 16                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-18    | 197 a        | 175 b |
| 17                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-19    | 193 abc      | 173 d |
| 18                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-20    | 185 def      | 175 b |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 192 abc      | 173 d |
| 20                 | Testigo                     | 98 j         | 84 i  |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

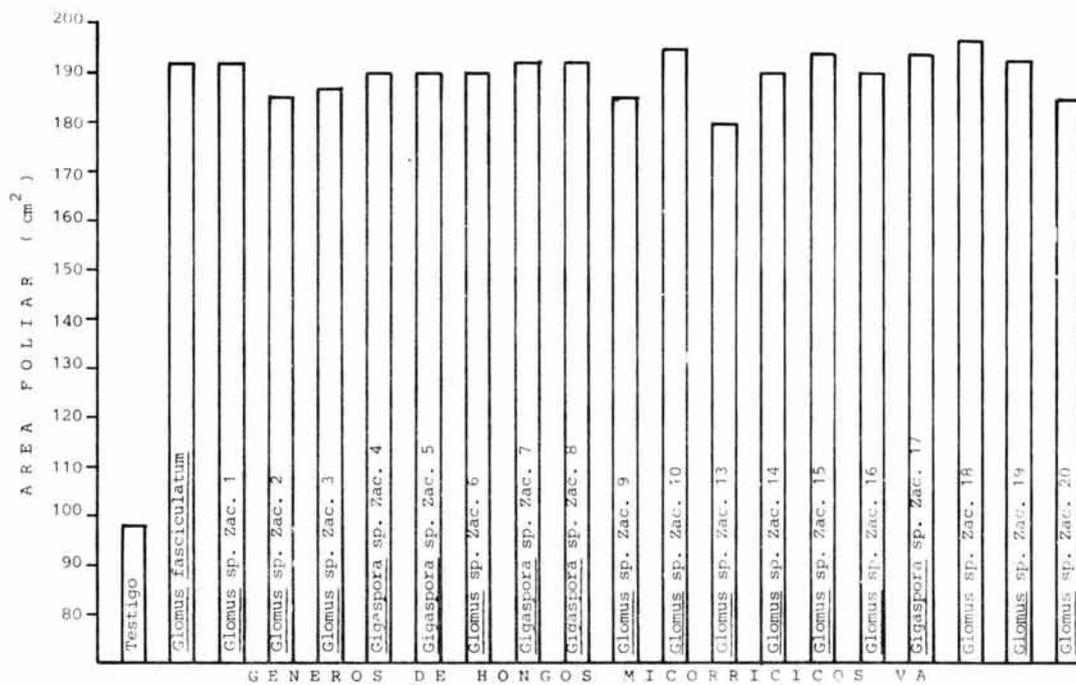


FIG. 14. AREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>) POR TRATAMIENTO EN *Carica papaya* CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD. (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

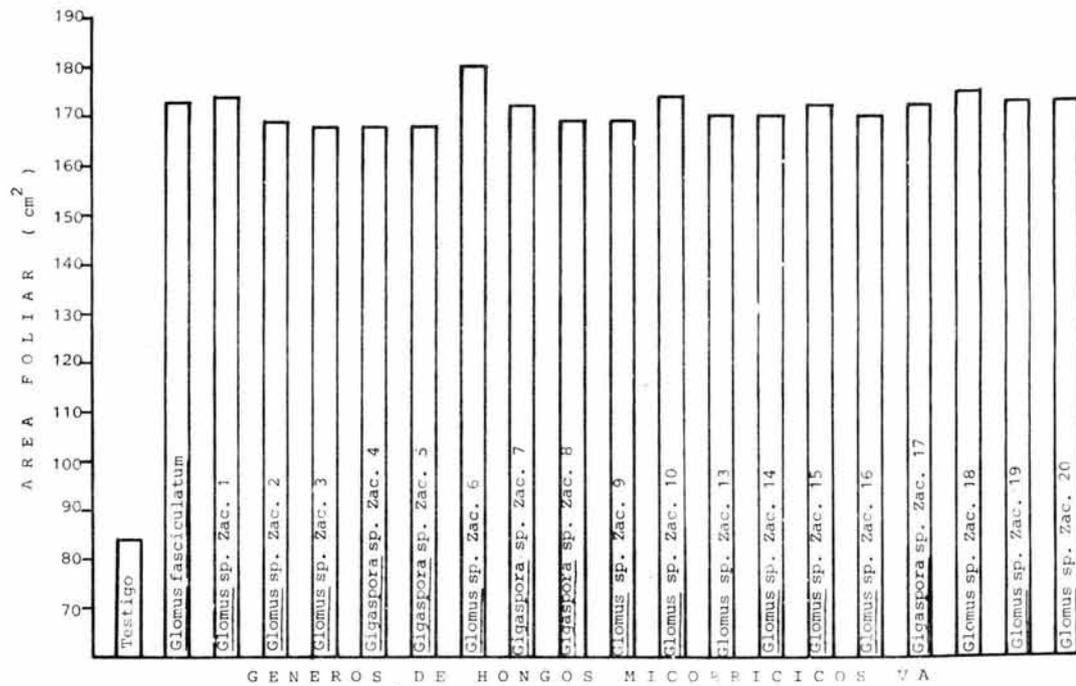


FIG. 15. AREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>) POR TRATAMIENTO EN *Carica papaya* CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

liar de plantas inoculadas y no inoculadas de ambos cultiva- res. Los hongos endomicorrízicos estimularon una área foto- sintetizante en el cultivar cera de  $197 \text{ cm}^2$  con *Glomus sp.* Zac-18, seguido de *Glomus sp.* Zac-10 con  $195 \text{ cm}^2$ , *Gigaspora sp.* Zac-17 y *Glomus sp.* Zac-15 con  $194 \text{ cm}^2$ , *Glomus sp.* Zac-19 con  $193 \text{ cm}^2$  y *Glomus fasciculatum*  $192 \text{ cm}^2$ , por única- mente  $98 \text{ cm}^2$  del testigo (Fig. 14). Los mejores tratamientos para esta variable en el cultivar solo fue con *Glomus sp.* Zac-6 con  $180 \text{ cm}^2$ , *Glomus sp.* Zac-18 con  $175 \text{ cm}^2$ , *Glomus sp.* Zac-1 y *Glomus sp.* Zac-10 con  $174 \text{ cm}^2$ , y *Glomus fasciculatum* con  $173 \text{ cm}^2$ , por  $84.0 \text{ cm}^2$  del testigo (Fig. 15).

#### 5.1.5. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el vo- lumen radical de plantas de papaya cultivar cera y so lo.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados del efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el volumen radical de plantas de papaya cultivar cera y solo. La prueba de separa- ción de medias por tratamiento de Tukey indicó que todos los tratamientos que fueron inoculados con hongos endomicorrízicos fueron significativamente diferentes al tratamiento no inocu- lado, y entre los tratamientos inoculados *Glomus sp.* Zac-19 resultó ser el mejor tratamiento tanto en el cultivar cera ( $30.0 \text{ ml}$ ) como en el cultivar solo ( $28.0 \text{ ml}$ ).

El análisis de varianza proporcionó diferencias esta- dísticas altamente significativas (Apéndice B-9 y B-10) en el volumen radical entre plantas inoculadas con hongos endomico-

Cuadro 7. Volumen radical en mililitros de plantas de papaya cultivar cera y solo, Inoculadas con 19 cepas de endomicorriza vesículo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |       |
|--------------------|-----------------------------|--------------|-------|
|                    |                             | cera         | solo  |
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 29 b         | 20 f  |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 26 e         | 23 e  |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 25 f         | 25 d  |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 20 h         | 18 h  |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 15 j         | 15 i  |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 26 e         | 26 bc |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 15 j         | 20 f  |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 18 i         | 15 i  |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 25 f         | 15 i  |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 25 f         | 26 f  |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 25 f         | 19 g  |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 25 f         | 23 e  |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 28 c         | 23 e  |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 23 g         | 25 d  |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 23 g         | 23 e  |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 26 e         | 23 e  |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 30 a         | 28 a  |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 27 d         | 27 b  |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 27 d         | 26 bc |
| 20                 | Testigo                     | 8 k          | 5 j   |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

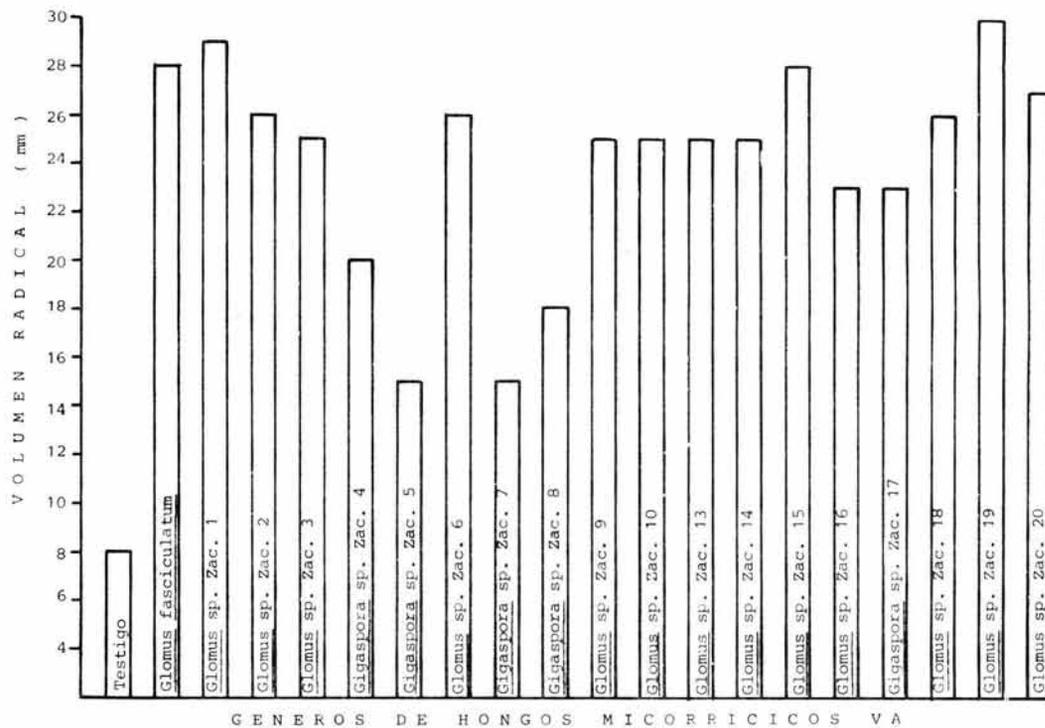


FIG. 16. VOLUMEN RADICAL EN MILILITROS DE PLANTAS DE *Carica papaya* CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

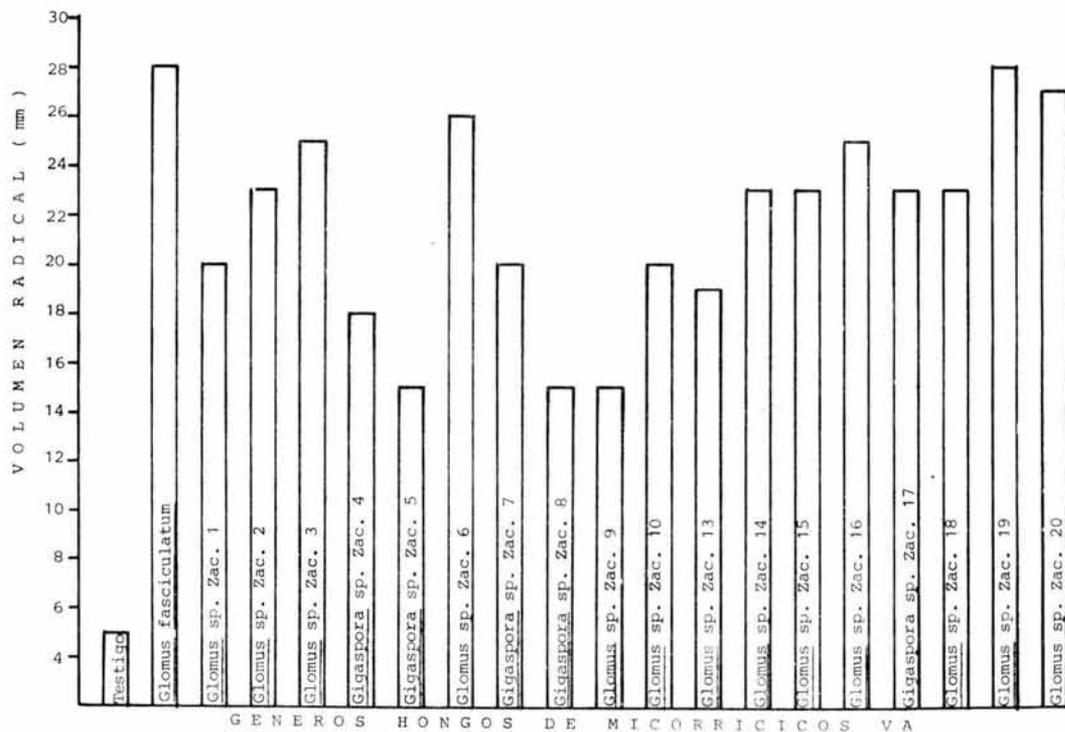


FIG. 17. VOLUMEN RADICAL EN MILILITROS DE PLANTAS DE *Carica papaya* CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

rrízicos y plantas no inoculadas. Los resultados observados fueron que plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 lograron un volumen radical de 30.0 ml, seguidas de los tratamientos inoculados con *Glomus sp.* Zac-3 (29.0 ml), *Glomus sp.* Zac-15 (28.0 ml), y *Glomus fasciculatum* (27.0 ml). El tratamiento con menor volumen radical fue el de las plantas testigo con 8.0 ml (Fig. 16). En el cultivar solo, la cepa de hongos endomicorrízicos identificada como *Glomus sp.* Zac-19 estimuló el mayor volumen radical (28.0 ml), seguida de *Glomus sp.* Zac-20 (27.0 ml) y de *Glomus fasciculatum* (26.0 ml). El volumen radical de las plantas testigo fue de 5.0 ml (Fig. 17).

#### 5.1.6. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el peso seco total de plantas de papaya cultivar cera y solo

En el Cuadro 8 se muestran los resultados del efecto de la inoculación de hongos endomicorrízicos sobre el peso seco total de plantas de papaya cultivar cera y solo. La prueba de separación de medias por tratamiento de Tukey indicó que todos los tratamientos inoculados con hongos endomicorrízicos fueron significativamente diferentes al tratamiento no inoculado, y entre los tratamientos inoculados *Glomus sp.* Zac-19 resultó ser el mejor tratamiento en los dos cultivares con (3.7 g).

El análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-11 y B-12) en el peso

Cuadro 8. Peso seco total en gramos de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza vesfculo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |          |
|--------------------|-----------------------------|--------------|----------|
|                    |                             | cera         | solo     |
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 2.2 i        | 2.2 efg  |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 1.7 k        | 2.0 fg   |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 3.5 n        | 2.4 def  |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 1.9 k        | 2.5 abc  |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 1.1 n        | 1.0 h    |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 2.0 j        | 2.5 cdef |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 1.3 l        | 1.6 gh   |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 1.9 k        | 1.9 tg   |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 3.2 c        | 1.6 gh   |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 3.1 d        | 2.4 def  |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 1.2 m        | 1.2 h    |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 2.3 h        | 2.3 ef   |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 3.2 c        | 2.4 def  |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 2.8 g        | 3.0 bcd  |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 3.5 b        | 2.8 bcde |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 3.0 e        | 2.8 bcde |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 3.9 a        | 3.7 a    |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 2.2 f        | 2.2 efg  |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 2.2 i        | 3.3 ab   |
| 20                 | Testigo                     | 0.6 o        | 0.2 i    |

Valores con la misma letra son estadfisticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

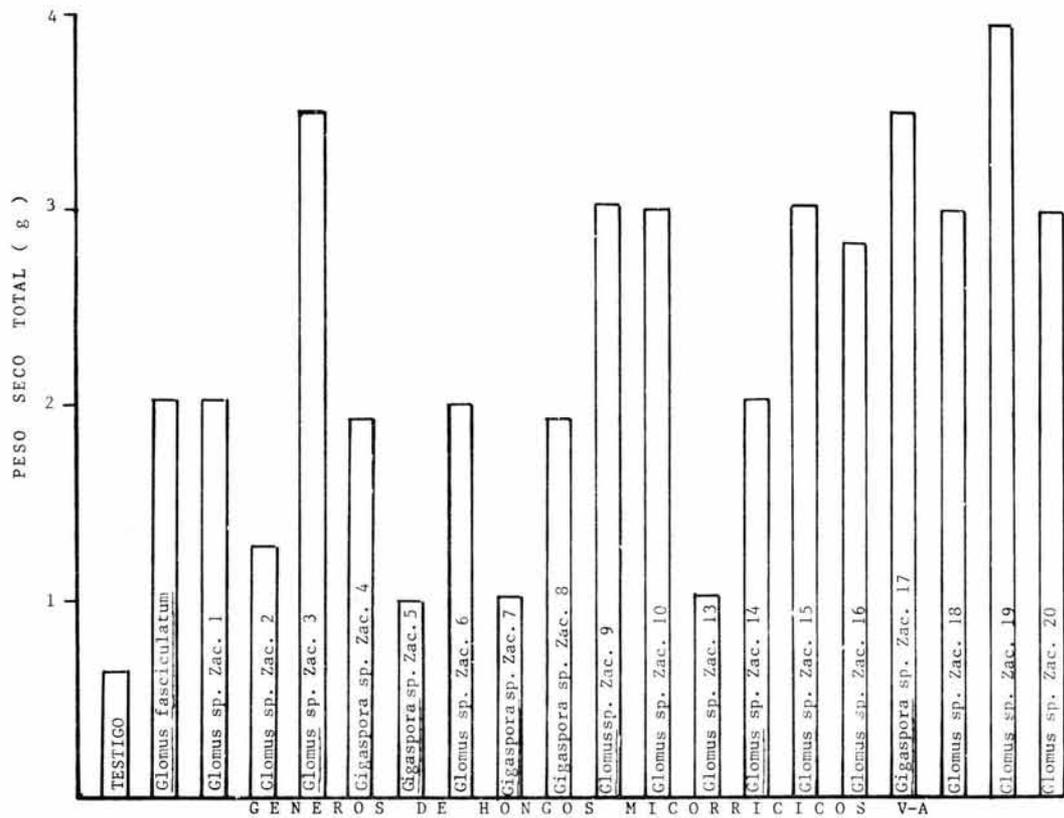


FIG. 18. PESO SECO TOTAL EN GRAMOS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

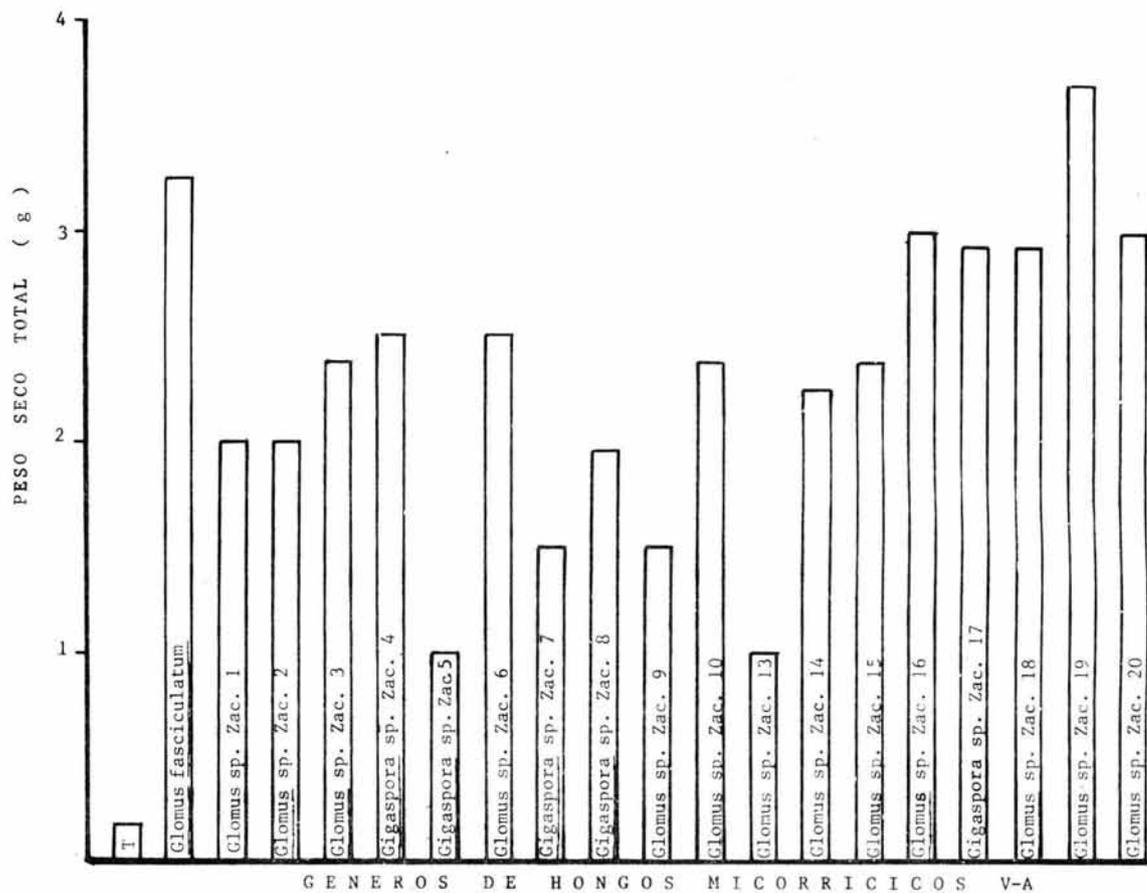


FIG. 19. PESO SECO TOTAL EN GRAMOS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES POR TRATAMIENTO).

seco total de plantas inoculadas y no inoculadas. Los mejores tratamientos en el cultivar cera fue con los hongos *Glomus* sp. Zac-19 (3.7 g), *Glomus* sp. Zac-3 y *Gigaspora* sp. Zac-17 (3.5 g), *Glomus* sp. Zac-9 y *Glomus* sp. Zac-15 (3.2 g), *Glomus fasciculatum* (2.2 g), por 0.6 g del testigo (Fig. 18). En cuanto a la variedad solo, los tratamientos que estimularon una mayor biomasa fueron los tratamientos *Glomus* sp. Zac-19 (3.7 g), *Glomus fasciculatum* (3.3 g), *Glomus* sp. Zac-16 (3.0 g), por 0.2 g del testigo (Fig. 19).

#### 5.1.7. Porcentaje de colonización endomicorrízica en plantas de papaya cultivar cera y solo

El Cuadro 9 muestra los porcentajes de colonización endomicorrízica evaluados en el sistema radical de plantas de papaya cultivar cera y solo.

Los porcentajes encontrados indican que todas las cepas de hongos endomicorrízicos que fueron aislados del suelo de rizosfera de plantas de frijol en el Estado de Zacatecas, son altamente infectivas en la colonización radical interna de los dos cultivares de papaya, esto se pone de manifiesto al no cuantificar porcentajes de colonización menores de 70. Los mejores tratamientos para esta variable en el cultivar cera fue con los hongos *Gigaspora* sp. Zac-17, *Glomus* sp. Zac-19 y *Glomus fasciculatum* con 100% de colonización para cada uno. La prueba de separación de medias de Tukey indicó que estos tres tratamientos fueron estadísticamente iguales, pero significativamente diferentes al resto de los tratamientos (Fig.

Cuadro 9. Porcentaje de colonización micorrízica en plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con 19 cepas de endomicorriza vesículo-arbuscular.\*

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |       |
|--------------------|-----------------------------|--------------|-------|
|                    |                             | cera         | solo  |
| 1                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-1     | 96 d         | 91 de |
| 2                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-2     | 93 f         | 80 i  |
| 3                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-3     | 97 c         | 93 c  |
| 4                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-4  | 92 g         | 79 ij |
| 5                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-5  | 92 g         | 83 h  |
| 6                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-6     | 96 d         | 95 b  |
| 7                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-7  | 92 g         | 78 j  |
| 8                  | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-8  | 92 g         | 79 ij |
| 9                  | <i>Glomus</i> sp. Zac-9     | 93 f         | 79 ij |
| 10                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-10    | 95 e         | 95 b  |
| 11                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-13    | 93 f         | 88 ef |
| 12                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-14    | 92 g         | 88 ef |
| 13                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-15    | 98 b         | 93 c  |
| 14                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-16    | 98 b         | 90 e  |
| 15                 | <i>Gigaspora</i> sp. Zac-17 | 100 a        | 92 cd |
| 16                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-18    | 95 e         | 87 g  |
| 17                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-19    | 100 a        | 92 cd |
| 18                 | <i>Glomus</i> sp. Zac-20    | 93 f         | 82 h  |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 100 a        | 95 a  |
| 20                 | Testigo                     | 0 h          | 0 k   |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

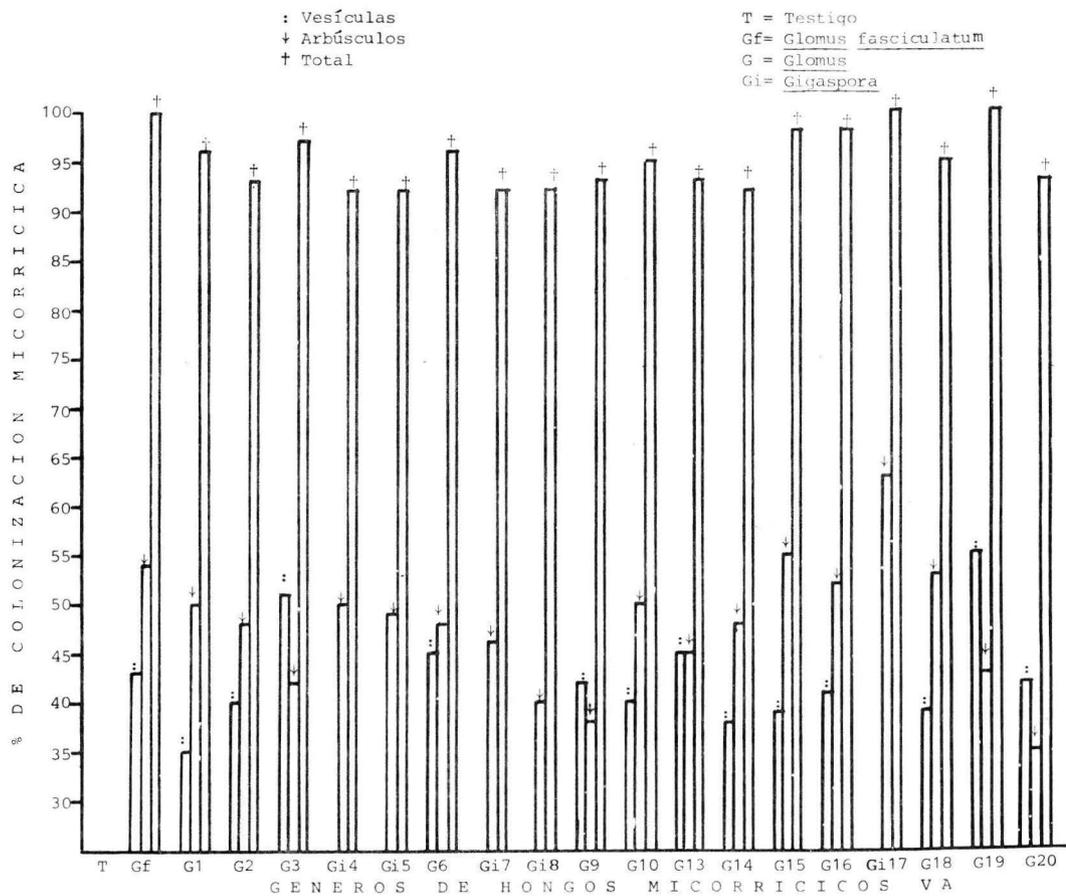


FIG. 20. COLONIZACION MICORRIZICA PORCENTUAL DE VESICULAS, ARBUSCULOS Y TOTAL EN PLANTAS DE *Carica papaya* CULTIVAR CERA (90 DIAS DE EDAD) INOCULADAS CON HONGOS MICORRIZICOS V-A.

: Vesículas  
 † Arbúsculos  
 † Total

T = Testigo  
 Gf = Glomus fasciculatum  
 G = Glomus  
 Gi = Gigaspora

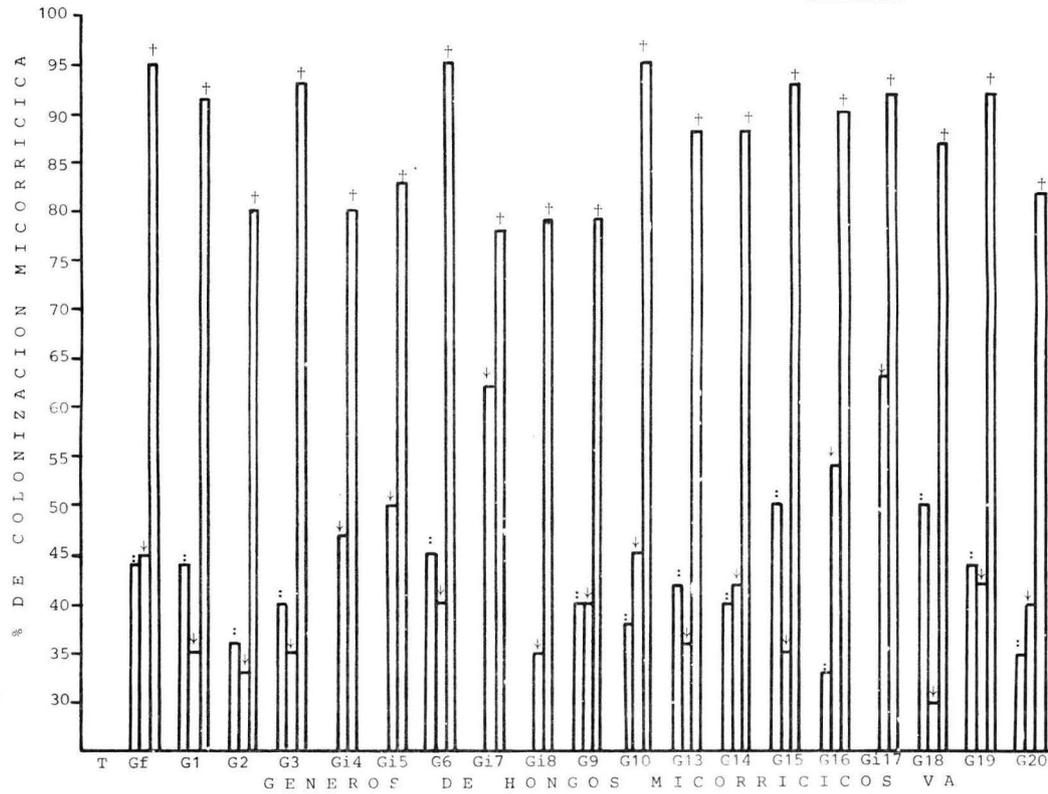


FIG. 21. COLONIZACION MICORRIZICA PORCENTUAL DE VESICULAS, ARBUSCULOS Y TOTAL EN PLANTAS DE *Carica papaya* CULTIVAR SOLO (90 DIAS DE EDAD) INOCULADAS CON HONGOS MICORRIZICOS V-A.

20). Los mejores porcentajes de colonización endomicorrízica en el cultivar solo, fue con los hongos *Glomus sp.* Zac-19 y *Gigaspora sp.* Zac-17 con 92% (Fig. 21).

5.1.8. Número de esporas de hongos endomicorrízicos producidas en plantas de papaya cultivar cera y solo.

El número de esporas presentó una tendencia ascendente en cada uno de los tratamientos inoculados (Cuadro 10), obteniéndose incrementos considerables al de su número original, lo cual permitió obtener diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, sobresaliendo por su esporulación en el cultivar cera los hongos *Glomus sp.* Zac-19 (2,600) y *Glomus fasciculatum* (2,557) (Fig. 22). Los mejores tratamientos en el cultivar solo fue con los hongos *Glomus fasciculatum* (2,580), y *Glomus sp.* Zac-19 con 2,430 esporas producidas (Fig. 23).

## 11. Efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK en plantas de papaya cultivar cera.

5.2.1. Efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el crecimiento de plantas de papaya cultivar cera.

En el Cuadro 11 están reportados los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya a los 90 días de edad.\* Se observó

---

\*La prueba de separación de medias por tratamiento de Tukey indicó que el tratamiento 4 que fue fertilizado con 30-10-0 kg/ha de NPK resultó ser estadísticamente igual al tratamiento 11 que únicamente fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19.

Cuadro 10. Número de esporas en 100 g de suelo seco de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrícicos V A\*.

| No. de tratamiento | Cepa de endomicorriza       | Carga papaya |          |
|--------------------|-----------------------------|--------------|----------|
|                    |                             | cera         | solo     |
| 1                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-1     | 2536 d       | 2350 b   |
| 2                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-2     | 2223 o       | 2040 efg |
| 3                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-3     | 2360 k       | 2420 b   |
| 4                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-4  | 2230 m       | 1870 h   |
| 5                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-5  | 2226 n       | 1960 gh  |
| 6                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-6     | 2530 e       | 2248 c   |
| 7                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-7  | 2210 r       | 1866 h   |
| 8                  | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-8  | 2288 s       | 1969 fg  |
| 9                  | <i>Glomus sp.</i> Zac-9     | 2470 h       | 1996 fg  |
| 10                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-10    | 2510 f       | 2180 cd  |
| 11                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-13    | 2487 g       | 2062 ef  |
| 12                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-14    | 2216 q       | 2400 b   |
| 13                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-15    | 2370 j       | 2210 c   |
| 14                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-16    | 2217 p       | 2227 c   |
| 15                 | <i>Gigaspora sp.</i> Zac-17 | 2420 i       | 2100 de  |
| 16                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-18    | 2345 l       | 2046 efg |
| 17                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-19    | 2600 a       | 2430 b   |
| 18                 | <i>Glomus sp.</i> Zac-20    | 2230 c       | 2010 efg |
| 19                 | <i>Glomus fasciculatum</i>  | 2557 b       | 2580 a   |
| 20                 | Testigo                     | 0 t          | 0 i      |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

\* Promedio de 5 repeticiones.

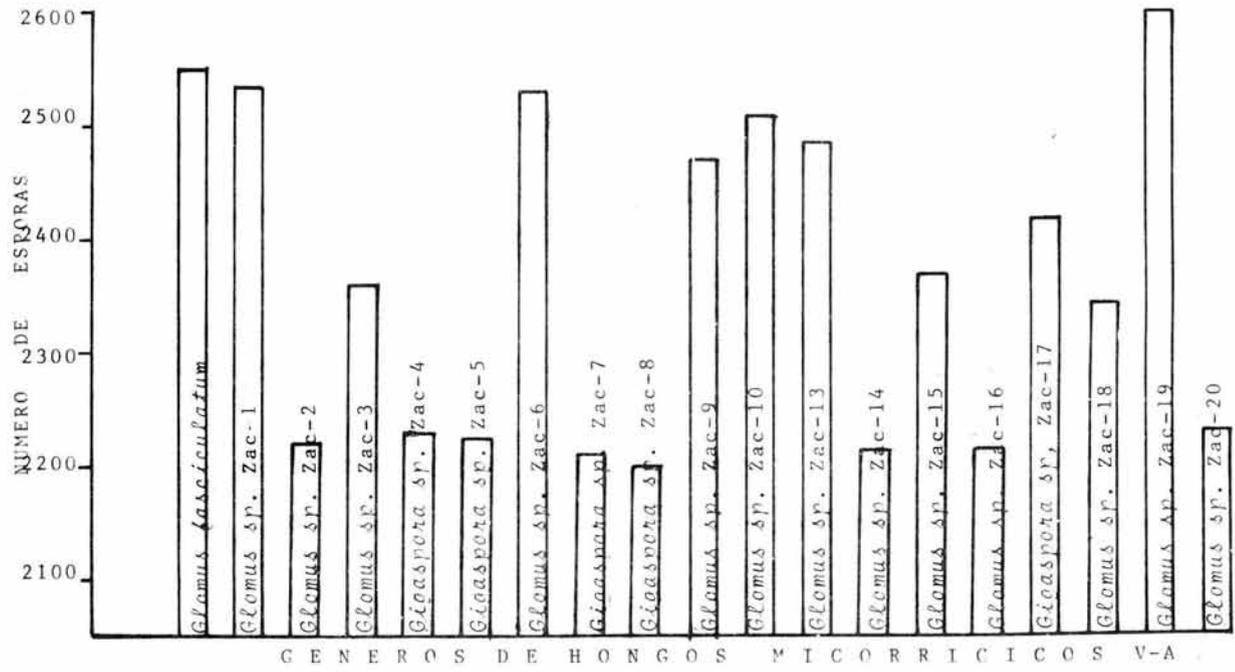


FIG. 22. NUMERO DE ESPORAS DE HONGOS ENDOMICORRIZICOS EN PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES).

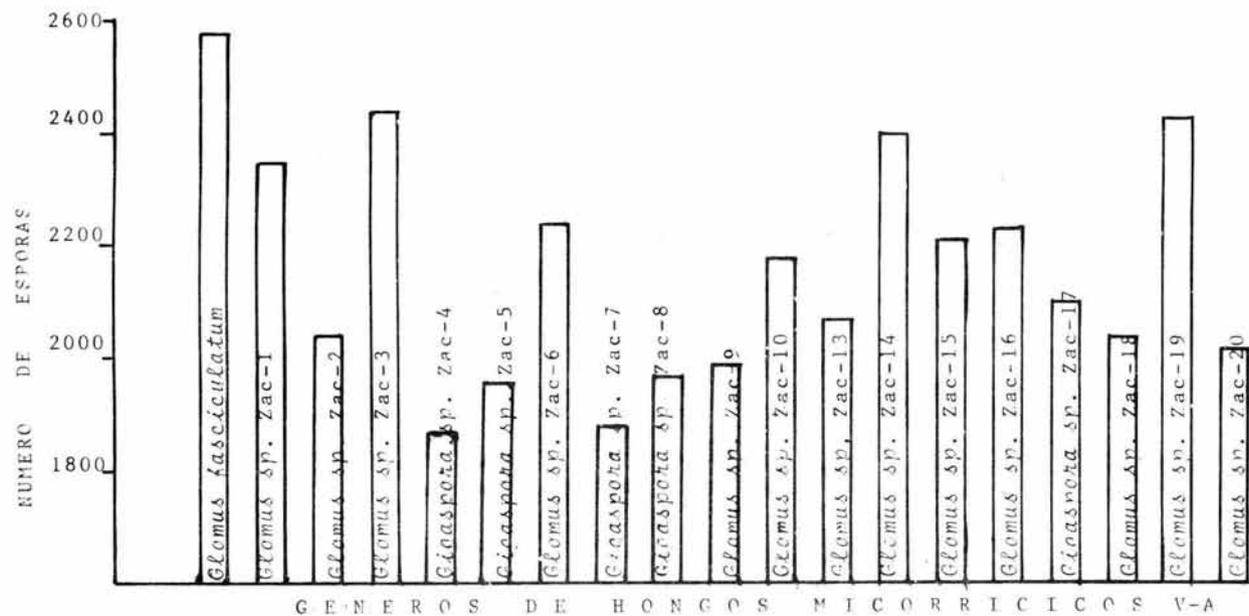


FIG. 23. NUMERO DE ESPORAS DE HONGOS ENDOMICORRIZICOS EN PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR SOLO DE 90 DIAS DE EDAD (PROMEDIO DE 5 REPETICIONES).

Cuadro 11. Incremento en porcentaje de la altura de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadas con NPK\*.

| No. de tratamiento | N - P - K    | Kg/ha                      | Altura % |
|--------------------|--------------|----------------------------|----------|
| 1                  | 00 - 00 - 00 | (testigo absoluto)         | 100 l    |
| 2                  | 00 - 10 - 00 |                            | 221 gh   |
| 3                  | 15 - 10 - 00 |                            | 240 f    |
| 4                  | 30 - 10 - 00 |                            | 271 a    |
| 5                  | 15 - 00 - 00 |                            | 221 h    |
| 6                  | 15 - 10 - 00 |                            | 240 e    |
| 7                  | 15 - 20 - 00 |                            | 207 fg   |
| 8                  | 15 - 10 - 00 |                            | 233 e    |
| 9                  | 15 - 10 - 05 |                            | 170 j    |
| 10                 | 15 - 10 - 10 |                            | 155 k    |
| 11                 | 00 - 00 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 264 a    |
| 12                 | 00 - 10 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 250 bc   |
| 13                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 255 b    |
| 14                 | 30 - 10 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 227 d    |
| 15                 | 15 - 00 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 237 cd   |
| 16                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 196 i    |
| 17                 | 15 - 20 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 168 j    |
| 18                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 188 h    |
| 19                 | 15 - 10 - 05 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 196 e    |
| 20                 | 15 - 10 - 10 | + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 203 f    |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% = 0.46.

\* Promedio de 5 repeticiones.

que los tratamientos con micorriza + fertilizante incrementaron más la altura de las plantas que los tratamientos con fertilizante, lo que originó diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-13) entre tratamientos fertilizados, inoculados y testigos. Las plantas fertilizadas con 30-10-0 Kg/ha de fertilización NPK, lograron el mayor incremento de altura (271.4%) entre los tratamientos fertilizados, mientras que las plantas del tratamiento 11 que fueron inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 alcanzaron hasta 264.2% de altura. El tratamiento 14 que fue fertilizado con 30-10-0 Kg/ha de NPK e inoculado con esta cepa de endomicorriza desarrolló hasta 227.2% de altura. En cuanto al tratamiento 7 que fue fertilizado con 15-20-0 Kg/ha NPK logró 207.1% de altura, pero cuando fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 se redujo su incremento hasta 168.8% (tratamiento 17). Con respecto al tratamiento 10 que fue fertilizado con 15-10-10 Kg/ha NPK, su incremento en altura fue de 203.8% cuando se inoculó con *Glomus sp.* Zac-19 (tratamiento 20) que cuando únicamente fue fertilizado (155.8%) (Fig. 24).

#### 5.2.2. Efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el diámetro del tallo de plantas de papaya, cultivar cera

En el Cuadro 12 se observan los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el diámetro del tallo de plantas de papaya. El diámetro del tallo de las plantas inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 (16.2 mm) fue mayor que el de los tratamien

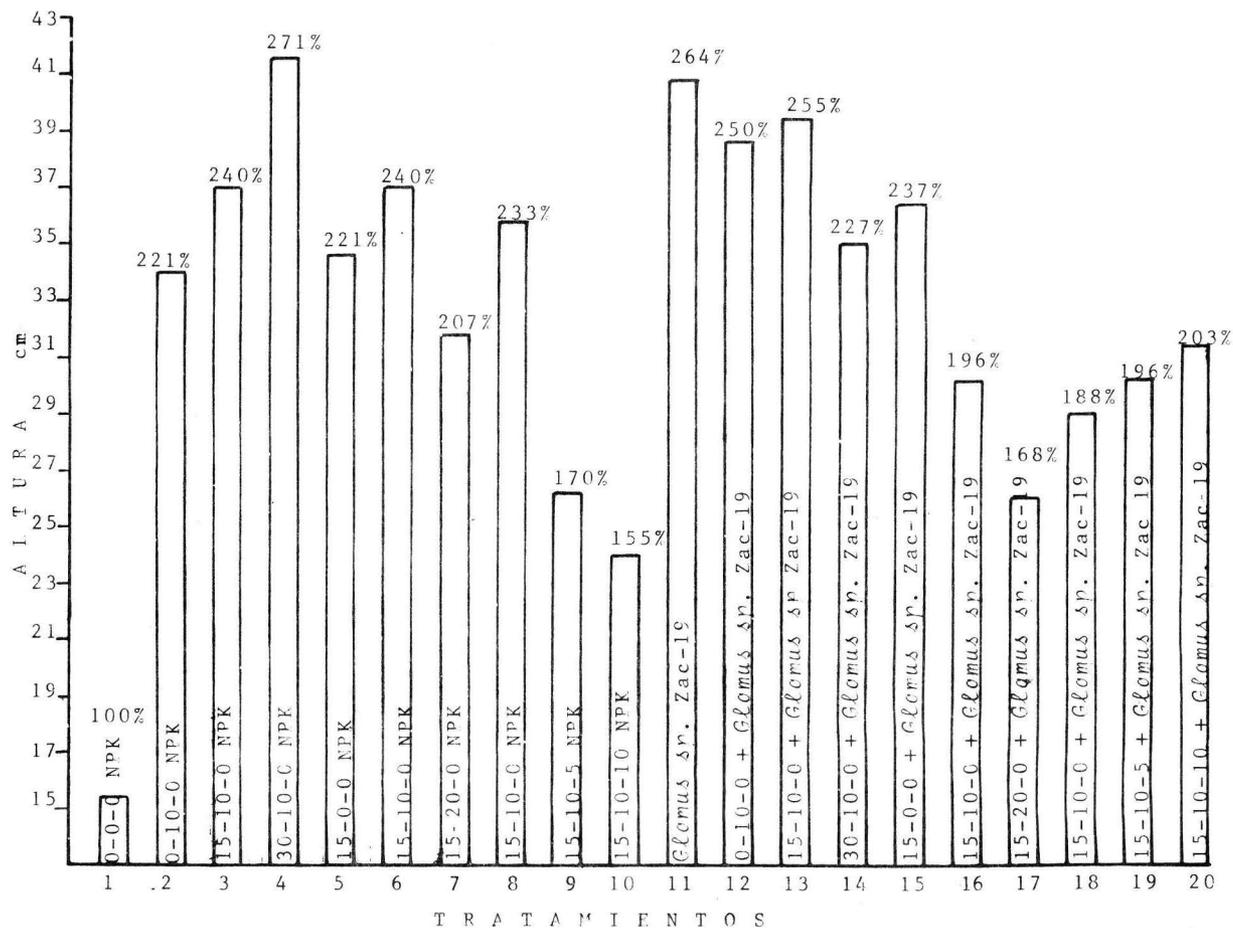


FIG. 24. ALTURA MEDIA EN CENTIMETROS Y EN PORCENTAJE DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CFRA INOCULADAS CON *Glomus* sp. Zac-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

Cuadro 12. Diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadores con NPK.\*

| No. de tratamiento | N - P - K                               | Kg/ha              | Diámetro mm |
|--------------------|---|--------------------|-------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00                            | (testigo absoluto) | 8.7 k       |
| 2                  | 00 - 10 - 00                            |                    | 11.5 f      |
| 3                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 13.7 c      |
| 4                  | 30 - 10 - 00                            |                    | 14.3 b      |
| 5                  | 15 - 00 - 00                            |                    | 12.0 e      |
| 6                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 13.3 de     |
| 7                  | 15 - 20 - 00                            |                    | 13.1 de     |
| 8                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 13.6 e      |
| 9                  | 15 - 10 - 05                            |                    | 13.1 de     |
| 10                 | 15 - 10 - 10                            |                    | 11.3 gh     |
| 11                 | 00 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 16.2 a      |
| 12                 | 00 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 14.6 cd     |
| 13                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 12.4 g      |
| 14                 | 30 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 10.9 j      |
| 15                 | 15 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 13.3 i      |
| 16                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 14.2 de     |
| 17                 | 15 - 20 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 12.1 h      |
| 18                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 13.8 de     |
| 19                 | 15 - 10 - 05 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 14.9 b      |
| 20                 | 15 - 10 - 10 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 15.5 b      |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

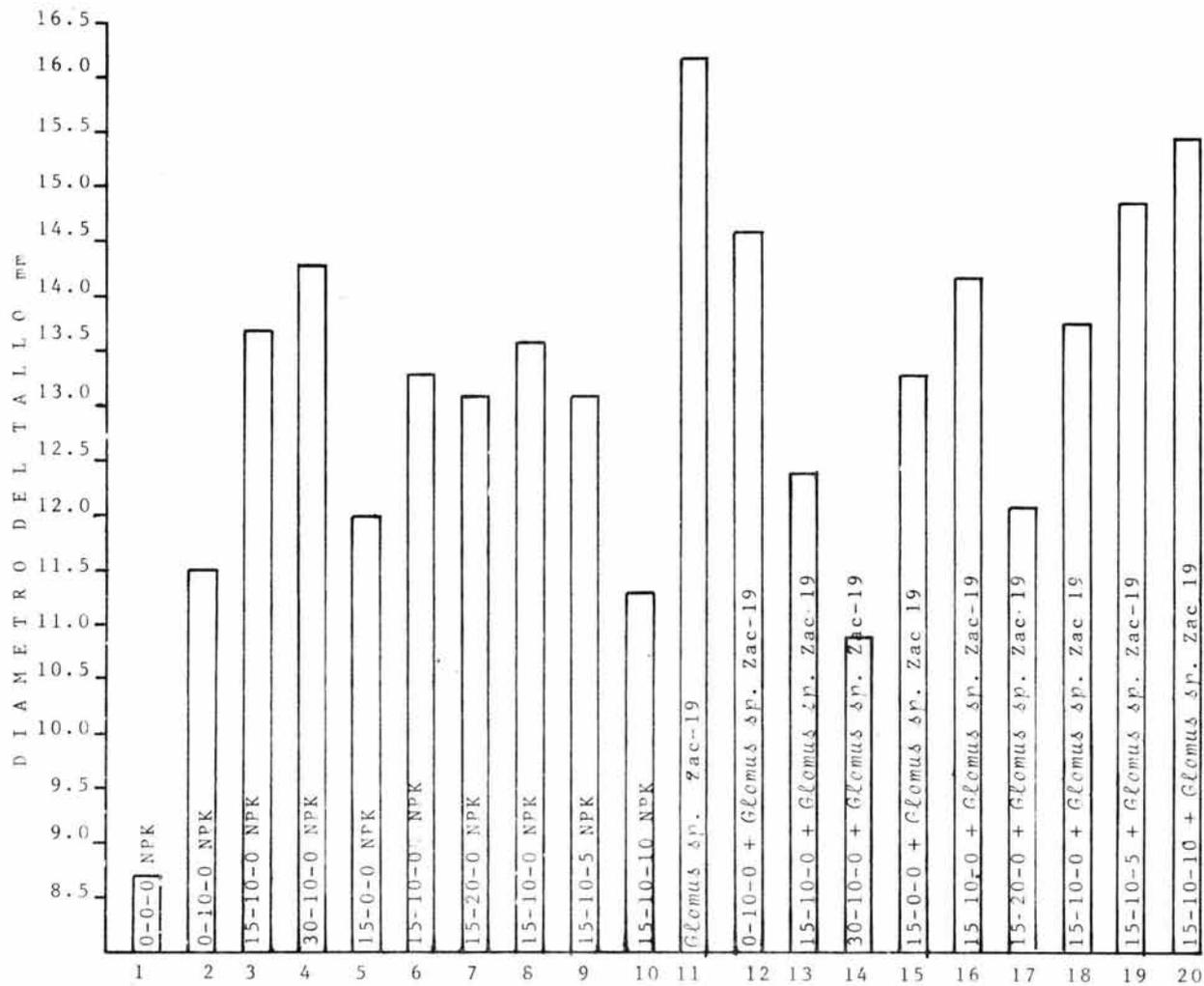
DSH 5% = 0.27

\* Promedio de 5 repeticiones.

tos fertilizados, inoculados más fertilizados y el testigo, encontrándose diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-14). El tratamiento fertilizado con 30-10-0 Kg/ha de NPK estimuló un grosor de tallo de 14.3 mm, pero al ser inoculado con los hongos endomicorrícicos se redujo hasta 10.9 mm. Cuando a las plantas se les adicionó 15-10-0 Kg/ha de NPK lograron un diámetro de tallo de 13.7 mm (tratamiento 7), y cuando se incrementó el nivel de fósforo, disminuyó el grosor del tallo hasta 13.1 mm (tratamiento 7). Se observó que al incrementar el nivel de potasio se inhibió el desarrollo del tallo desde 13.1 mm con 5 Kg/ha de K hasta 11.3 mm con 10 Kg/ha de K. Las plantas cuando fueron fertilizadas con 10 Kg/ha de fósforo e inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 dió por resultado un diámetro de tallo de 12.4 mm, pero cuando se incrementó el nivel de P (20 Kg/ha), el grosor del tallo se redujo hasta 12.1 mm. Ocurrió lo contrario, cuando a las plantas inoculadas se les incrementó el nivel de potasio: a 5 Kg/ha las plantas desarrollaron un diámetro de tallo de 14.9 mm, pero con 10 Kg/ha de este elemento alcanzaron un grosor de tallo de 15.5 mm (Fig. 25).

### 5.2.3. Efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el número de hojas de plantas de papaya cultivar cera.

En el Cuadro 13 se muestran los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el número de hojas de plantas de papaya. Se observaron diferencias estadísticas altamente significati-



TRATAMIENTOS  
 FIG. 25. DIAMETRO DEL TALLO DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus sp. Zac 19* Y FERTILIZADAS CON NPK.

Cuadro 13. Número de hojas de plantas de papaya variedad cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK\*.

| No. de tratamiento | N - P - K                               | Kg/Ha | Número/hojas |
|--------------------|---|-------|--------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00                            |       | 17 j         |
| 2                  | 00 - 10 - 00                            |       | 24 efg       |
| 3                  | 15 - 10 - 00                            |       | 28 bcd       |
| 4                  | 30 - 10 - 00                            |       | 30 a         |
| 5                  | 15 - 00 - 00                            |       | 26 de        |
| 6                  | 15 - 10 - 00                            |       | 27 cd        |
| 7                  | 15 - 20 - 00                            |       | 27 cd        |
| 8                  | 15 - 10 - 00                            |       | 28 bc        |
| 9                  | 15 - 10 - 05                            |       | 25 efgh      |
| 10                 | 15 - 10 - 10                            |       | 23 hi        |
| 11                 | 00 - 00 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 30 a         |
| 12                 | 00 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 23 hi        |
| 13                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 28 de        |
| 14                 | 30 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 26 bcd       |
| 15                 | 15 - 00 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 24 efg       |
| 16                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 28 defgh     |
| 17                 | 15 - 20 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 26 defg      |
| 18                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 25 ef        |
| 19                 | 15 - 10 - 05 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 29 ab        |
| 20                 | 15 - 10 - 10 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 |       | 30 a         |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% = 1.17

\* Promedio de 5 repeticiones.

vas (Apéndice B-15) en el número de hojas entre plantas fertilizadas, inoculadas, fertilizadas e inoculadas y testigos. Cuando las plantas fueron fertilizadas con 15-10-0 Kg/ha de NPK produjeron 28 hojas/planta (tratamiento 8), presentándose resultados similares cuando fueron fertilizadas con 15-10-0 Kg/ha de NPK e inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 (Tratamiento 13).

El tratamiento 4 que fue fertilizado con 30-10-0 unidades NPK produjo 30 hojas/planta. Se contabilizó un menor número de hojas (26) en el tratamiento 14 que contenía los mismos Kg/ha de NPK del tratamiento anterior, pero que fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19. Cuando se redujo el nivel de nitrógeno hasta 15 Kg/ha (tratamiento 6), el número de hojas fue de 27. Por el contrario, en el tratamiento fertilizado con 15 Kg/ha de N e inoculado con hongos endomicorrízicos se contaron 28 hojas/planta. Sin embargo, son estadísticamente iguales. Con 10 Kg/ha de potasio se inhibió el número de hojas (tratamiento 10), pues este tratamiento produjo 23 hojas/planta, y a 5 Kg/ha de K se contaron 25 hojas/planta. Sucedió lo inverso cuando las plantas fueron fertilizadas con 10 y 5 Kg/ha de K e inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 ya que se contabilizaron 30 y 29 hojas/planta, respectivamente (Fig. 26).

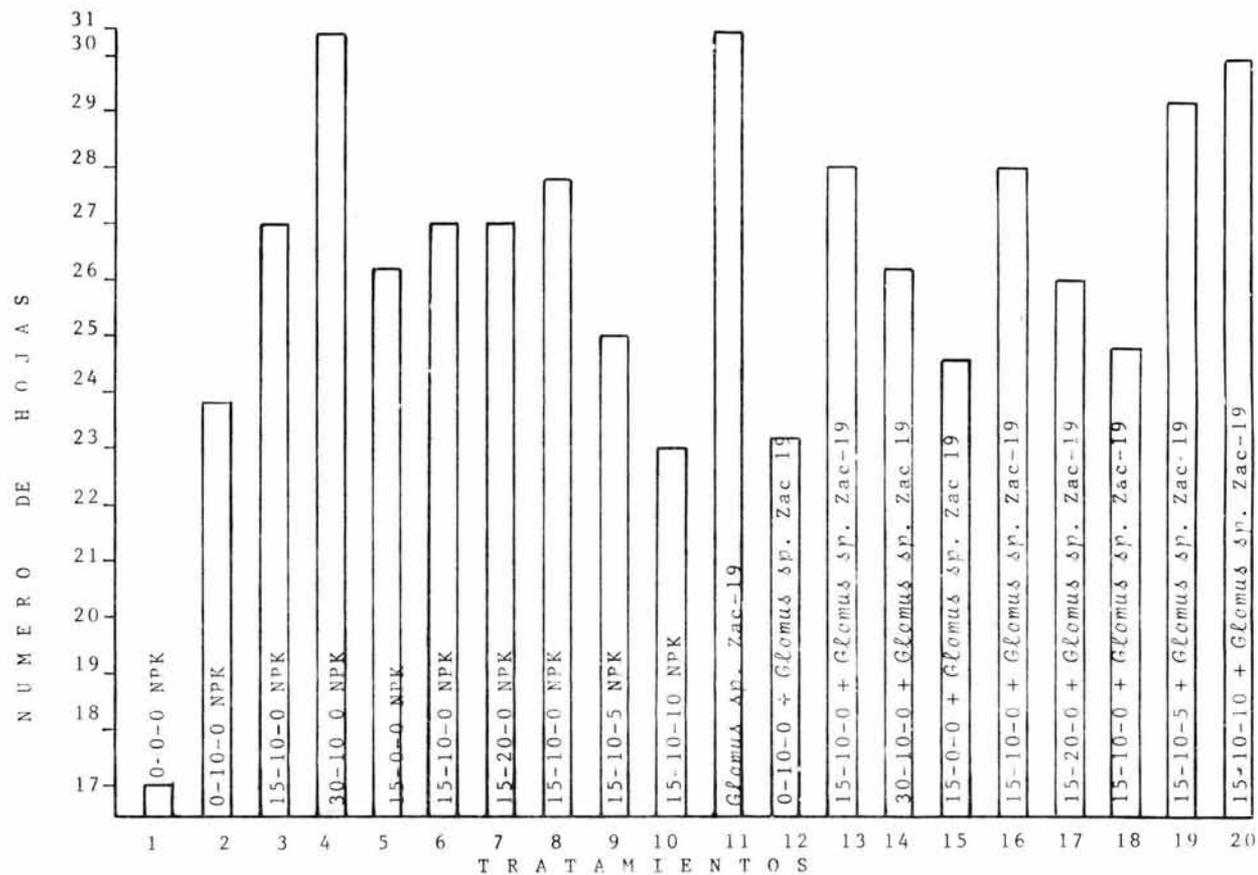


FIG. 26. NUMERO DE HOJAS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus* sp. ZAC-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

5.2.4. Efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el área foliar de hojas de plantas de papaya, cultivar cera.

El Cuadro 14 muestra los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el área foliar de planta de papaya.

La Figura 27 muestra que fue hasta 2 veces más el área foliar producida en plantas inoculadas que en plantas no inoculadas, ya que las primeras produjeron  $295 \text{ cm}^2$ , mientras que las segundas únicamente lograron  $145 \text{ cm}^2$  de área foliar. En los tratamientos fertilizados el valor más alto de este parámetro fue de  $295 \text{ cm}^2$  (tratamiento 4), que es igual al del tratamiento 11 que fue inoculado con endomicorriza y no fertilizado. Estos dos tratamientos fueron estadísticamente iguales, pero significativamente diferentes a todos los demás tratamientos. Se observó que el área foliar producida en los tratamientos con nitrógeno y fósforo es directamente proporcional al nivel de fertilizante adicionado: a 0 Kg/ha de nitrógeno se encontró un área foliar de  $175 \text{ cm}^2$  (tratamiento 2), con 15 Kg/ha de N, ésta se incrementó a  $195 \text{ cm}^2$  (tratamiento 3), y a 30 Kg/ha de fertilización nitrogenada el área foliar fue de  $295 \text{ cm}^2$  (tratamiento 4). En cuanto al fósforo, a 0 Kg/ha el área foliar encontrada fue de  $160 \text{ cm}^2$  (tratamiento 5), con 10 Kg/ha fue de  $195 \text{ cm}^2$  (tratamiento 6), y a 20 Kg/ha de fertilización fosfatada el área foliar fue de  $209 \text{ cm}^2$  (tratamiento 7). Con respecto al potasio, se observó un efecto perjudicial sobre el área foliar de las plantas al in-

Cuadro 14. Area foliar en centímetros cuadrados de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK.\*

| No. de tratamiento | N - P - K    | Kg/ha                      | Area foliar |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00 | (testigo absoluto)         | 145 n       |
| 2                  | 00 - 10 - 00 |                            | 175 k       |
| 3                  | 15 - 10 - 00 |                            | 195 i       |
| 4                  | 30 - 10 - 00 |                            | 295 b       |
| 5                  | 15 - 00 - 00 |                            | 160 l       |
| 6                  | 15 - 10 - 00 |                            | 195 i       |
| 7                  | 15 - 20 - 00 |                            | 209 f       |
| 8                  | 15 - 10 - 00 |                            | 197 h       |
| 9                  | 15 - 10 - 05 |                            | 160 l       |
| 10                 | 15 - 10 - 10 |                            | 150 m       |
| 11                 | 00 - 00 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 295 a       |
| 12                 | 00 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 184 j       |
| 13                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 219 d       |
| 14                 | 30 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 315 a       |
| 15                 | 15 - 00 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 175 k       |
| 16                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 218 e       |
| 17                 | 15 - 20 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 230 c       |
| 18                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 218 e       |
| 19                 | 15 - 10 - 05 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 195 i       |
| 20                 | 15 - 10 - 10 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 203 g       |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% = 7.7

\* Promedio de 5 repeticiones.

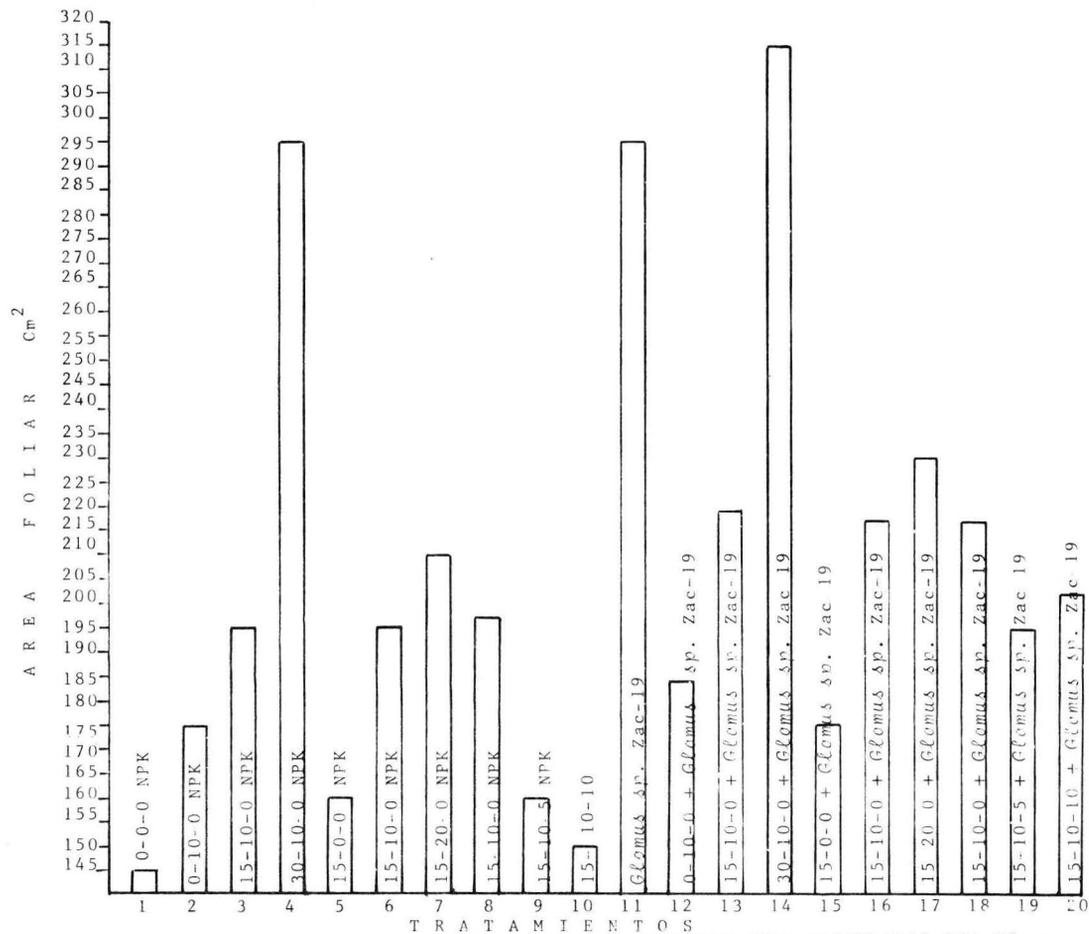


FIG. 27. AREA FOLIAR DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus sp. ZAC-19* Y FERTILIZADAS CON NPK.

crementar su nivel: con 0 Kg/ha fue de 197 cm<sup>2</sup> (tratamiento 8) con 5 Kg/ha fue de 160 cm<sup>2</sup>, pero a 10 Kg/ha se redujo el área foliar a 150 cm<sup>2</sup> (tratamiento 10). Al inocular con *Glomus sp.* Zac-19 a todos los tratamientos fertilizados con NPK, se observó un efecto favorable sobre el área foliar, pues sin excepción éstos hongos potenciaron el área foliar de las plantas (Fig. 27). En los tratamientos 12, 13 y 14 que fueron inoculados con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizados con 0, 15 y 30 Kg/ha de nitrógeno se encontró 184, 219 y 315 cm<sup>2</sup> de área foliar, respectivamente. En cuanto a los tratamientos 15, 16 y 17 que fueron fertilizados con fósforo e inoculados con *Glomus sp.* Zac-19 se obtuvieron valores de 175, 218 y 230 cm<sup>2</sup> de área foliar a 0, 10 y 20 Kg/ha de fertilización fosfatada, respectivamente. En los tratamientos 18, 19 y 20 que fueron inoculados con estos hongos y fertilizados con potasio se encontraron los siguientes resultados de área foliar: a 0 Kg/ha fue de 218 cm<sup>2</sup>, a 5 Kg/ha fue de 195 cm<sup>2</sup>, pero con 10 Kg/ha fue de 203 cm<sup>2</sup>.

#### 5.2.5. Efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el volumen radical de plantas de papaya cultivar cera

En el Cuadro 15 se exponen los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus sp.* Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el volumen radical de plantas de papaya. Se observaron diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-16) en el volumen radical entre plan

Cuadro 15. Volumen radical de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK.\*

| No. de tratamiento | N - P - K    | Kg/ha                      | Volumen ml |
|--------------------|--------------|----------------------------|------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00 | (testigo absoluto)         | 5.0 i      |
| 2                  | 00 - 10 - 00 |                            | 12.4 ghi   |
| 3                  | 15 - 10 - 00 |                            | 14.4 efg   |
| 4                  | 30 - 10 - 00 |                            | 46.0 a     |
| 5                  | 15 - 00 - 00 |                            | 15.8 efg   |
| 6                  | 15 - 10 - 00 |                            | 14.2 efg   |
| 7                  | 15 - 20 - 00 |                            | 34.0 bc    |
| 8                  | 15 - 10 - 00 |                            | 23.2 def   |
| 9                  | 15 - 10 - 05 |                            | 10.0 h     |
| 10                 | 15 - 10 - 10 |                            | 8.0 h      |
| 11                 | 00 - 00 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 45.4 a     |
| 12                 | 00 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 26.4 cd    |
| 13                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 12.8 fgh   |
| 14                 | 30 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 44.2 ab    |
| 15                 | 15 - 00 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 28.6 cd    |
| 16                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 30.6 cd    |
| 17                 | 15 - 20 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 23.6 def   |
| 18                 | 15 - 10 - 00 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 43.4 ab    |
| 19                 | 15 - 10 - 05 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 23.6 cde   |
| 20                 | 15 - 10 - 10 | + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 27.4 cd    |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% = 10.6

\* Promedio de 5 repeticiones.

tas fertilizadas, inoculadas, fertilizadas e inoculadas y testigos. Las plantas del tratamiento 11 que fueron inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 lograron un volumen radical de 45.4 ml y las del tratamiento 4 que fueron fertilizadas con 30-10-0 Kg/ha NPK desarrollaron un volumen radical de 46.0 ml. Sin embargo, la prueba de comparación de medias de tratamientos indica que son estadísticamente iguales entre ellos, pero significativamente diferentes a todos los demás tratamientos. El testigo absoluto alcanzó un volumen radical de 5.0 ml. Los tratamientos (2, 3 y 4) fertilizados con nitrógeno dieron volúmenes radicales proporcionales al nivel de N adicionado. En cuanto a los tratamientos que fueron fertilizados con fósforo, se observó que a 0 Kg/ha el volumen radical fue de 15.8 ml (tratamiento 5), con 10 Kg/ha el volumen de raíces decreció a 14.2 ml (tratamiento 6), éstos dos tratamientos resultaron ser estadísticamente diferentes. A 20 Kg/ha de P el volumen radical fue de 34.0 ml. El potasio afectó negativamente el volumen de raíces, pues a 0 Kg/ha el volumen radical fue de 23.2 ml, pero con 5 y 10 Kg/ha se redujo el volumen radical hasta 10.0 ml y 8.0 ml, respectivamente. En cuanto a los tratamientos que fueron inoculados con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizados se vió que la interacción fue beneficiosa ya que se encontró un mayor volumen radical en todos los tratamientos bajo estas condiciones, excepto en los tratamientos 13 y 14 que contienen altos niveles de nitrógeno, y en el tratamiento 17 que contenía el mayor volumen de fósforo (20 Kg/ha). Finalmente, cabe destacar el efecto de *Glomus sp.* Zac-19 para plantas con

altos niveles de potasio, pues con 5 Kg/ha (tratamiento 19) se incrementó hasta 2 veces el volumen radical en comparación con el tratamiento 9 que fue fertilizado con estos mismos Kg/ha de K. A 10 Kg/ha se observó una respuesta dramática de las plantas hacia el efecto de la inoculación endomicorrízica, siendo hasta 3 veces más el volumen radical para el tratamiento 20 que fue inoculado en comparación con el tratamiento 10 que fue fertilizado (Fig. 28).

#### 5.2.6. Efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el peso seco total de plantas de papaya cultivar cera

En el Cuadro 16 están reportados los resultados encontrados del efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-19 y de la fertilización NPK sobre el peso seco total de plantas de papaya. Se observaron diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice B-17) en el peso seco total entre plantas fertilizadas, inoculadas, fertilizadas e inoculadas y testigos. Las plantas del tratamiento 4 que fueron fertilizadas con 30-10-0 Kg/ha de NPK lograron el mejor peso seco que fue de 6.0 g, seguidas de los tratamientos 16 y 14 que fueron inoculados con estos hongos y fertilizados con 15-10-0 (5.9 g) y con 30-10-0 (5.8 g) Kg/ha de NPK, respectivamente. Las plantas micorrizadas del tratamiento 11 produjeron 5.3 g de peso seco total. Sin embargo, la prueba de comparación de medias de tratamientos indicó que todos son estadísticamente iguales entre ellos, pero significativamente diferentes a todos los demás tratamientos. El peso seco total producido por el tes-

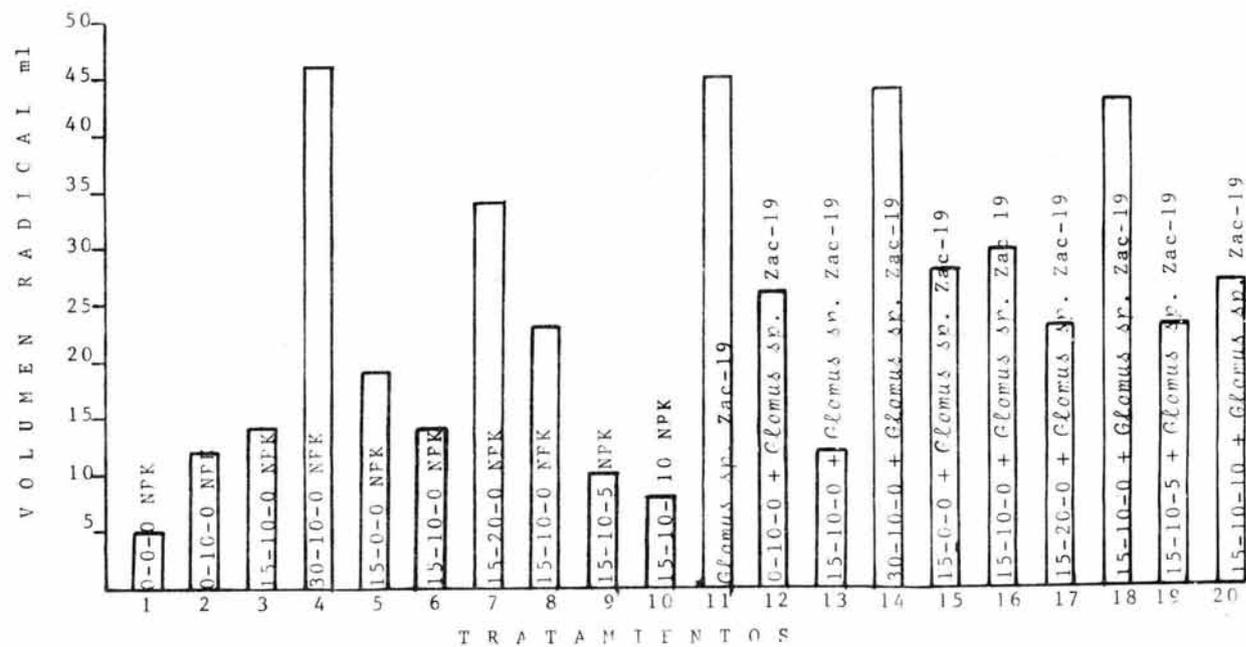


FIG. 28. VOLUMEN RADICAL EN MILILITROS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CFRA INOCULADAS CON *Glomus sp.* Zac-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

Cuadro 16. Peso seco total de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp, Zac-19 y fertilizadas con NPK\*.

| No. de tratamiento | N - P - K                               | Kg/ha              | Peso (g) |
|--------------------|---|--------------------|----------|
| 1                  | 00 - 00 - 00                            | (testigo absoluto) | 0.5 j    |
| 2                  | 00 - 10 - 00                            |                    | 2.3 hi   |
| 3                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 4.9 bcd  |
| 4                  | 30 - 10 - 00                            |                    | 6.0 a    |
| 5                  | 15 - 00 - 00                            |                    | 2.6 fgh  |
| 6                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 3.7 efg  |
| 7                  | 15 - 20 - 00                            |                    | 4.3 cde  |
| 8                  | 15 - 10 - 00                            |                    | 4.3 cde  |
| 9                  | 15 - 10 - 05                            |                    | 1.7 hi   |
| 10                 | 15 - 10 - 10                            |                    | 1.1 ij   |
| 11                 | 00 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 5.3 a    |
| 12                 | 00 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 4.0 def  |
| 13                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 3.1 ghi  |
| 14                 | 30 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 5.8 a    |
| 15                 | 15 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 4.6 bcd  |
| 16                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 5.9 a    |
| 17                 | 15 - 20 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 2.0 hi   |
| 18                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 5.9 a    |
| 19                 | 15 - 10 - 05 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 5.2 bcd  |
| 20                 | 15 - 10 - 10 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 |                    | 4.4 cdef |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% = 2.1

\* Promedio de 5 repeticiones.

tigo fue de 0.5 g. En general, la respuesta de las plantas de papaya fue directamente proporcional al nivel de N, P y K adicionado. A 0 Kg/ha de N se encontró un peso seco de 2.3 g (tratamiento 2), con 15 Kg/ha fue de 4.9 g (tratamiento 3). El fósforo estimuló un menor peso seco en las plantas que el N pues con 0 Kg/ha el peso fue de 2.6 g (tratamiento 5), con 10 Kg/ha el peso seco fue de 3.7 g (tratamiento 6), y con 20 Kg/ha de este elemento el peso fue de 4.3 g (tratamiento 7). En cuanto al potasio se observó una respuesta desfavorable, ya que al incrementar el nivel de este elemento, se redujo el peso seco total (tratamientos 8, 9 y 10). En cuanto a los tratamientos que fueron fertilizados e inoculados, se observó que conforme se incrementó el nivel de N, el peso seco se redujo (tratamientos 8, 9 y 10). En cuanto a los tratamientos fertilizados con P e inoculados con *Glomus sp.* Zac-19 se obtuvieron los siguientes resultados; con 0 Kg/ha el peso fue de 4.6 g (tratamiento 15), con 10 Kg/ha el peso fue de 5.9 g (tratamiento 16), y con 20 Kg/ha de este elemento, el peso se redujo hasta 2.0 g (tratamiento 17). En cuanto al potasio, se observó una respuesta inversamente proporcional de las plantas a el nivel adicionado de este elemento. Con 0 Kg/ha de K el peso seco fue de 5.9 g (tratamiento 18), con 5 Kg/ha se encontró un peso seco de 5.2 g (tratamiento 19), pero con 10 Kg/ha de este elemento el peso se redujo a 4.4 g (tratamiento 20) (Fig. 29).

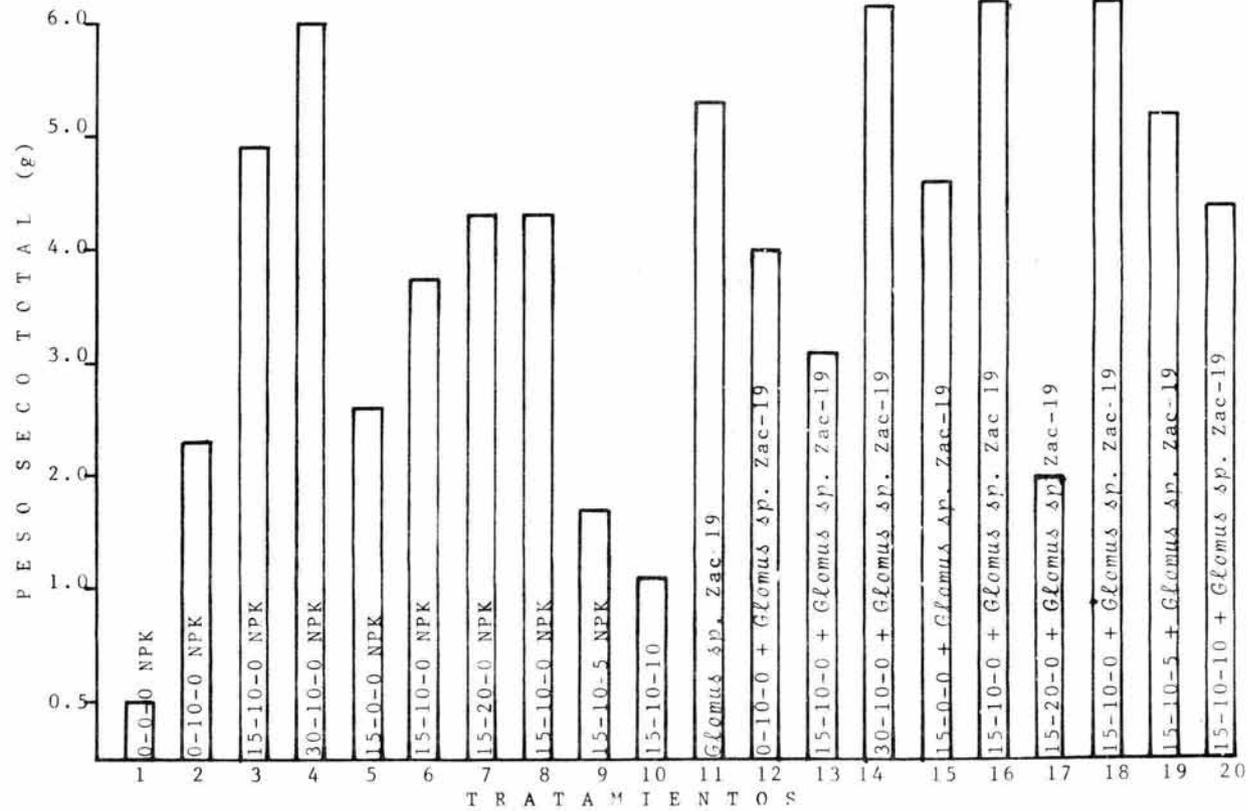


FIG. 29. PESO SECO TOTAL EN GRAMOS DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus* sp. Zac-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

5.2.7. Efecto de la fertilización NPK sobre la colonización endomicorrízica de *Glomus sp.* Zac-19 en plantas de papaya cultivar cera.

En el Cuadro 17 se aprecia el porcentaje de colonización endomicorrízica en plantas de papaya inoculadas con endomicorriza y fertilizadas con tres niveles de NPK. En las plantas de los tratamientos 1 a 10 que fueron únicamente fertilizadas con NPK, no se encontró la presencia de la endomicorriza en sus raíces, ésto confirmó que la fumigación del sustrato empleado fue eficiente. En cuanto al tratamiento 11 que fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 y no fertilizado, logró el máximo porcentaje de colonización que es de 100%. Los tratamientos que fueron fertilizados e inoculados con este hongo, se vieron afectados drásticamente en su grado de colonización con altos niveles de N y P. A 0 Kg/ha de fertilización nitrogenada fue de 32% (tratamiento 12), con 15 Kg/ha se evaluó el mismo valor (tratamiento 13) pero con 30 Kg/ha de este elemento la colonización micorrízica se redujo sensiblemente hasta 14% (tratamiento 14). En los tratamientos fertilizados con fósforo fue más dramático el efecto que ocasionó las altas concentraciones de este elemento en el desarrollo y colonización radical de *Glomus sp.* Zac-19. Con 0 Kg/ha se encontró un porcentaje de colonización de 60 (tratamiento 15), y con 10 Kg/ha la colonización se redujo a 29% (tratamiento 16); pero con 20 Kg/ha de este elemento, la colonización micorrízica fue de únicamente 10% (tratamiento 17). El potasio también inhibió el desarrollo y colonización micorrízica: a 0 Kg/ha el porcenta-

Cuadro 17. Porcentaje de colonización micorrizica en plantas de papaya cultivar cera, inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK\*.

| No. de tratamiento | N - P - K Kg/ha                         | % colonización |
|--------------------|---|----------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00 (testigo absoluto)         | 0 j            |
| 2                  | 00 - 10 - 00                            | 0 j            |
| 3                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j            |
| 4                  | 30 - 10 - 00                            | 0 j            |
| 5                  | 15 - 00 - 00                            | 0 j            |
| 6                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j            |
| 7                  | 15 - 20 - 00                            | 0 j            |
| 8                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j            |
| 9                  | 15 - 10 - 05                            | 0 j            |
| 10                 | 15 - 10 - 10                            | 0 j            |
| 11                 | 00 - 00 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 100 a          |
| 12                 | 00 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 32 e           |
| 13                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 32 e           |
| 14                 | 30 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 14 h           |
| 15                 | 15 - 00 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 60 b           |
| 16                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 29 g           |
| 17                 | 15 - 20 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 10 i           |
| 18                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 30 f           |
| 19                 | 15 - 10 - 05 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 34 d           |
| 20                 | 15 - 10 - 10 + <i>Glomus sp.</i> Zac-19 | 35 c           |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% =

\* Promedio de 5 repeticiones.

je de colonización fue de 30 (tratamiento 18), con 5 Kg/ha la colonización micorrízica fue 34% (tratamiento 19), y con 10 Kg/ha de este elemento el grado de colonización fue de 35% (tratamiento 20 (Fig. 30).

#### 5.2.8. Efecto de la fertilización NPK sobre el número de esporas de *Glomus sp.* Zac-19 en plantas de papaya cultivar cera

En el Cuadro 18 están reportados los resultados encontrados del número de esporas de *Glomus sp.* Zac-19 en plantas de papaya a los 90 días de edad.

Los tratamientos (1 al 10) que no fueron inoculados con hongos micorrízicos no presentaron esporas. El tratamiento 11 que fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 y no fertilizado produjo el mayor número de esporas (4,406). Los tratamientos que fueron fertilizados e inoculados con este hongo se vieron afectados drásticamente en la producción de esporas con altos niveles de N y P. A 0 y 15 Kg/ha de fertilización nitrogenada se contabilizó un total de 3,200 esporas (tratamiento 12 y 13), pero con 30 Kg/ha de este elemento el número de esporas se redujo hasta 1,830 (tratamiento 14). En los tratamientos fertilizados con fósforo se observó la misma tendencia: a 0 Kg/ha se encontraron 3,326 esporas (tratamiento 15), con 10 Kg/ha se cuantificaron 3,200 esporas (tratamiento 16), pero con 20 Kg/ha de fertilización de este elemento, el número de esporas fue de 1,513 (tratamiento 17). El potasio también afectó el número de esporas, encontrándose a 0 Kg/ha 3,210

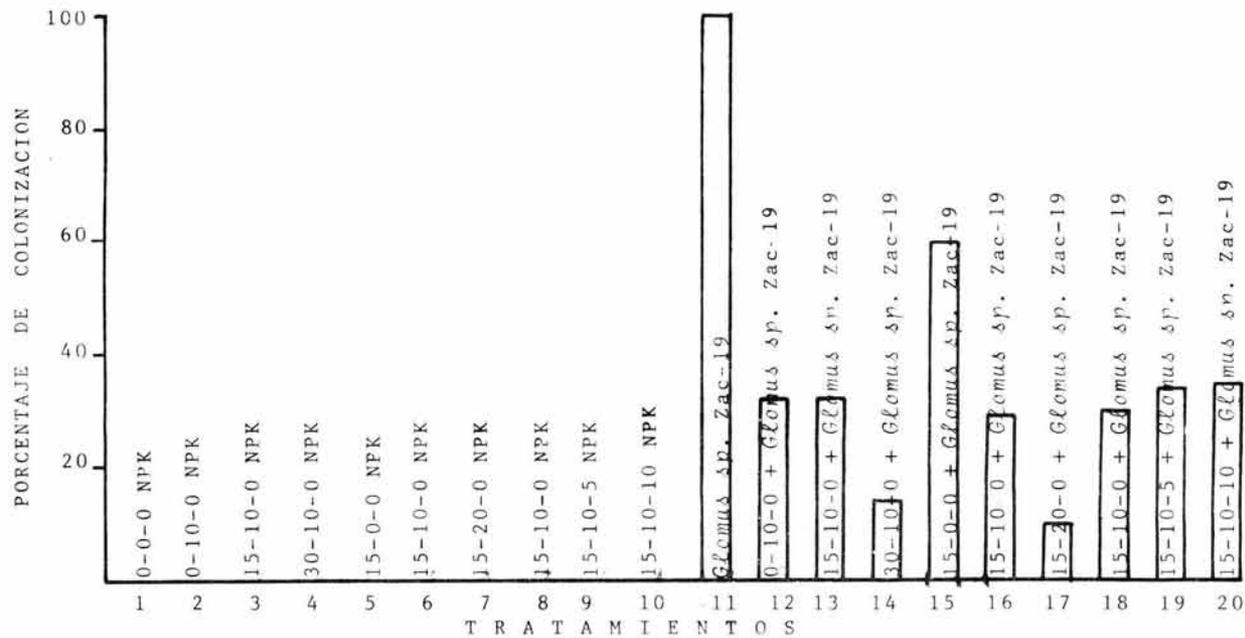


FIG. 30. PORCENTAJE DE COLONIZACION MICORRIZICO DE PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus* sp. Zac-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

Cuadro 18. Número de esporas producidas en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadas con NPK\*.

| No. de tratamiento | N - P - K Kg/ha                         | No. de esporas/100 g suelo seco |
|--------------------|---|---------------------------------|
| 1                  | 00 - 00 - 00 (testigo absoluto)         | 0 j                             |
| 2                  | 00 - 10 - 00                            | 0 j                             |
| 3                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j                             |
| 4                  | 30 - 10 - 00                            | 0 j                             |
| 5                  | 15 - 00 - 00                            | 0 j                             |
| 6                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j                             |
| 7                  | 15 - 20 - 00                            | 0 j                             |
| 8                  | 15 - 10 - 00                            | 0 j                             |
| 9                  | 15 - 10 - 05                            | 0 j                             |
| 10                 | 15 - 10 - 10                            | 0 j                             |
| 11                 | 00 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 4406 a                          |
| 12                 | 00 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 3200 e                          |
| 13                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 3220 c                          |
| 14                 | 30 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 1830 h                          |
| 15                 | 15 - 00 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 3326 b                          |
| 16                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 3200 e                          |
| 17                 | 15 - 20 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 1513 i                          |
| 18                 | 15 - 10 - 00 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 3210 d                          |
| 19                 | 15 - 10 - 05 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 2060 g                          |
| 20                 | 15 - 10 - 10 + <i>Glomus</i> sp. Zac-19 | 2190 f                          |

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH 5% =

\* Promedio de 5 repeticiones.

(tratamiento 18), con 5 Kg/ha se contabilizaron 2,060 esporas, pero con 10 Kg/ha de este elemento el número de esporas se redujo hasta 2,190 (tratamiento 20) (Fig. 31).

### III. Dinámica de aparición de estructuras de endomicorriza en *Carica papaya* cultivar cera

5.3.1. Porcentaje de colonización total, de arbusculos y vesículas en plantas de papaya variedad cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19.

La colonización inicial de la endomicorriza vesículo-arbuscular en plantas de papaya fue a los 10 días después de la inoculación, evaluándose un porcentaje de colonización promedio de 21. Los arbusculos se encontraron hasta los 14 días de establecido el experimento (Cuadro 19). A los 20 días aparecieron las vesículas en las células corticales, y el porcentaje de colonización promedio fue 56. La máxima frecuencia de arbusculos fue a los 43 días (82.3%). Los arbusculos se reducen después de esta fecha teniéndose al final del experimento (a los 64 días) un 38.8%. En cuanto a las vesículas su frecuencia máxima alcanzada fue a los 64 días (61.2%). La máxima colonización total fue a los 50 días (100%), manteniéndose constante este valor hasta el final del experimento (Fig. 32).

5.3.2. Porcentaje de la colonización total, de arbusculos y vesículas en plantas de papaya variedad cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadas con 60 K de P/ha

La colonización de la endomicorriza a los 14 días después de la inoculación fue de hifas solamente, el porcentaje de colo

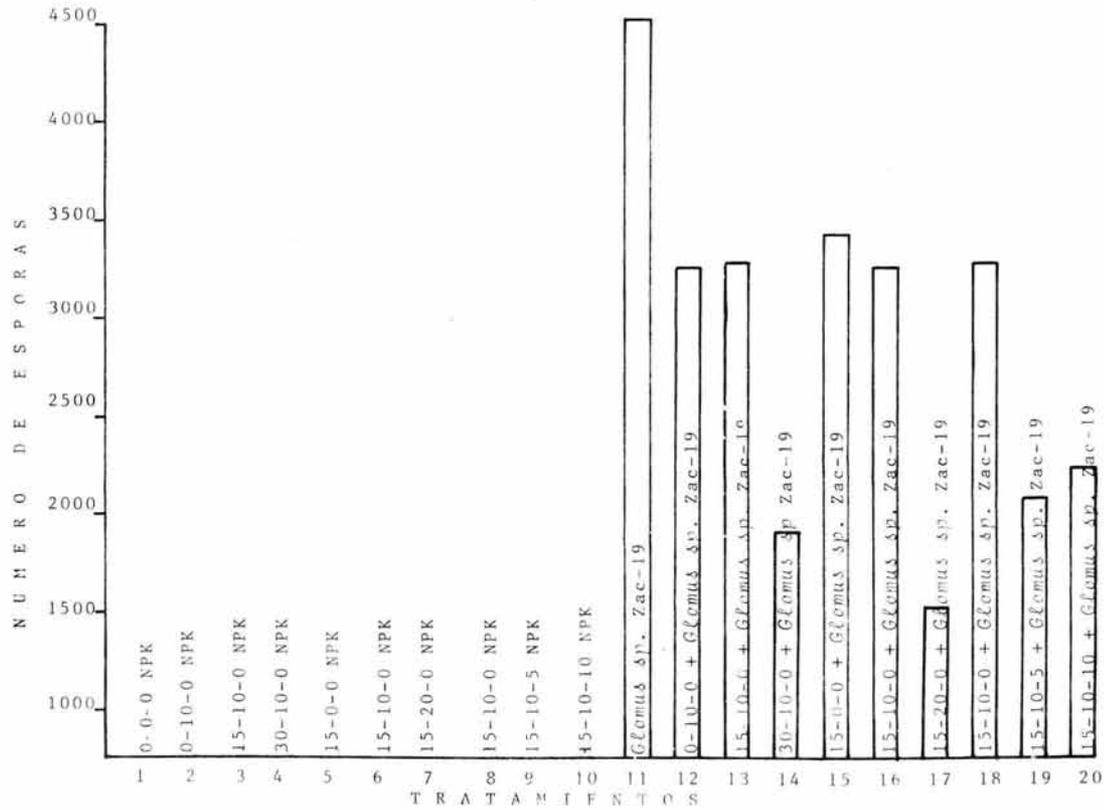


FIG. 31. NUMERO DE ESPORAS MICORRIZICAS EN PLANTAS DE PAPAYA CULTIVAR CERA INOCULADAS CON *Glomus* sp. Zac-19 Y FERTILIZADAS CON NPK.

Cuadro 19. Porcentaje de colonización total y parcial de vesículas y arbuscúlos en plantas de papaya cultivadas al inocularse con *Glomus* sp. Zac-19.\*

| Edad de la planta**<br>(días) | Colonización total | Colonización parcial<br>vesículas arbuscúlos |      |
|-------------------------------|--------------------|--|------|
| 3                             | 0                  | 0  | 0    |
| 7                             | 0                  | 0  | 0    |
| 10                            | 21.0               | 0  | 0    |
| 14                            | 37.5               | 0  | 8.3  |
| 20                            | 56.0               | 7  | 34.9 |
| 29                            | 80.0               | 18.6   | 54.6 |
| 36                            | 86.0               | 29.0   | 76.6 |
| 43                            | 90.0               | 38.0   | 82.3 |
| 50                            | 100.0              | 43.0   | 57.1 |
| 57                            | 100.0              | 50.0   | 50.0 |
| 64                            | 100.0              | 61.2   | 38.8 |

\* Promedio de 5 repeticiones.

\*\* Días después del trasplante e inoculación.

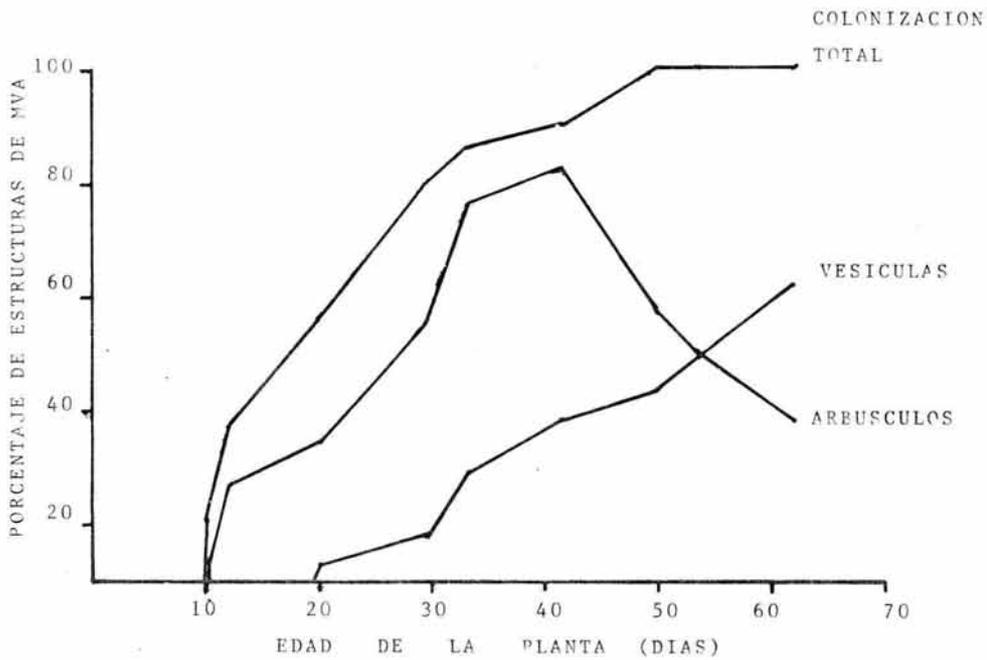


FIG. 32. DINAMICA DE LA APARISION DE ESTRUCTURAS DE *Glomus* sp. Zac-19 EN LA RAIZ DE *Carica papaya* CULTIVAR CERA.

nización promedio fue de 12. Los arbusculos se encontraron hasta los 20 días de establecido el experimento (Cuadro 20). La máxima densidad de arbusculos fue a los 43 días (50%). Los arbusculos se reducen después de esta fecha teniéndose al final del experimento (a los 64 días) un 35%. A los 29 días aparecieron las vesículas y el porcentaje de colonización promedio fue de 32. La frecuencia máxima de estas estructuras fue a los 57 días (27%). Las vesículas se reducen después de esta fecha teniéndose al final del experimento un 24%. La máxima colonización total alcanzada fue a los 57 días (70%), decayendo posteriormente al final del experimento hasta 64.3% (Fig. 33).

Cuadro 20. Porcentaje de colonización total y parcial de vesículas y arbuscúlos en plantas de papaya cultivadas al inocularse con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizarse con 50 Kg de P/ha.\*

| Edad de la planta**<br>(días) | Colonización total | Colonización parcial |            |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|------------|
|                               |                    | vesículas            | arbuscúlos |
| 3                             | 0                  | 0                    | 0          |
| 7                             | 0                  | 0                    | 0          |
| 10                            | 0.0                | 0                    | 0          |
| 14                            | 12.0               | 0                    | 0          |
| 20                            | 19.0               | 0                    | 10.2       |
| 29                            | 32.0               | 4                    | 21.3       |
| 36                            | 42.0               | 2                    | 37.3       |
| 43                            | 56.0               | 4                    | 50.0       |
| 50                            | 65.5               | 18.5                 | 42.0       |
| 57                            | 70.0               | 27.0                 | 37.0       |
| 64                            | 64.3               | 24.0                 | 35.0       |

\*Promedio de 5 repeticiones.

\*\*Días después del trasplante e inoculación.

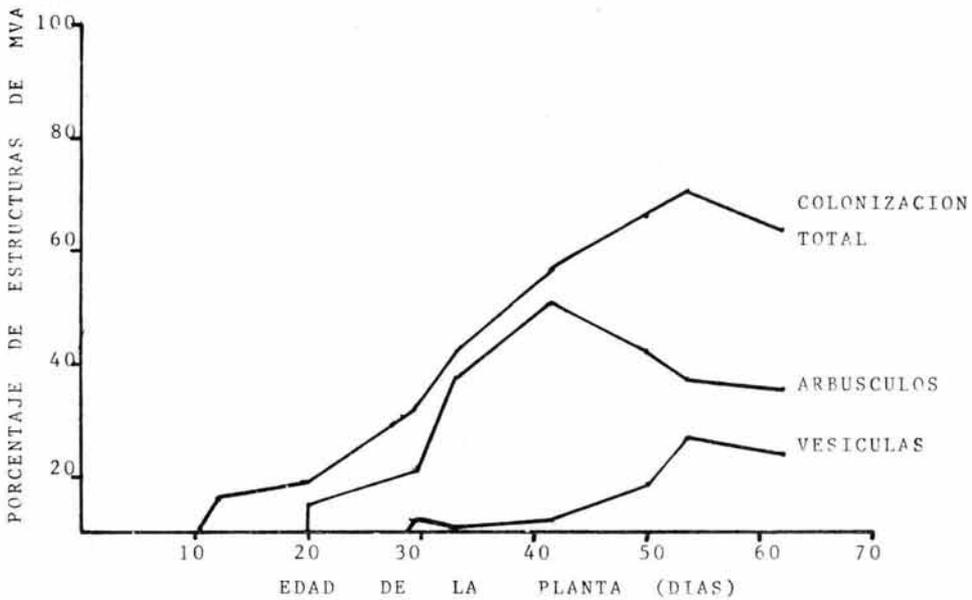


FIG. 33. DINAMICA DE LA APARISION DE ESTRUCTURAS DE ENDOMICORRIZA V-A EN LA RAIZ DE *Carica papaya* CULTIVAR CERA INOCULADA CON *Glomus sp. Zac-19* Y FERTILIZADA CON NPK.

## VI. DISCUSION

La discusión de los resultados se presentan y analizan a continuación según las 3 fases de trabajo realizadas para las variables altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, volumen radical, peso seco total, porcentaje de colonización y número de esporas.

## FASE I

La respuesta micotrófica de las plantas de papaya cultivar cera y solo a la inoculación endomicorrízica fue determinada por el genotipo de la planta y la efectividad e infectividad de cada una de las cepas de hongos endomicorrízicos ensayadas. Lo anterior se desprende del hecho de que se encontraron diferencias en las variables evaluadas entre cultivares y hongos endomicorrízicos, siendo la mejor simbiosis establecida entre el cultivar cera y *Glomus sp.* Zac-19. En cuanto al cultivar solo no se encontró una simbiosis bien definida, aunque se observó una relación preferencial con *Glomus sp.* Zac-6.

En general, todos los tratamientos inoculados son hongos endomicorrízicos superaron significativamente en crecimiento al tratamiento no inoculado en ambos cultivares.\*

---

\*Estos resultados coinciden con lo encontrado por González (1986) quien evaluó un mayor incremento en el crecimiento de plantas de fresa del orden de 230 y 341% al ser inoculadas con diferentes especies de hongos endomicorrízicos.

Esta mayor respuesta de las plantas inoculadas con hongos en endomicorrízicos la atribuye Mosse (1973b) al crecimiento externo del micelio, el cual actúa como una extensión de la su perficie de absorción de la raíz y suministra una mayor cantidad de nutrientes a la planta, particularmente de fósforo, cobre y zinc (Mosse y Hayman, 1980).

Una respuesta clara en el diámetro del tallo de plantas de papaya cultivar cera y solo inoculadas con hongos endomicorrízicos se detectó a los 90 días del trasplante en relación al testigo. Resultados similares reporta Menge *et al.* (1977) a los 90 días del trasplante en el grosor del tallo de cítricos. Estas diferencias en el incremento en el diámetro del tallo, están relacionadas a la mayor absorción de algunos nutrimentos que son translocados desde el suelo por las hifas de los hongos endomicorrízicos hasta las plantas (Menge y Johnson, 1978). La importancia de los hongos endomicorrízicos en estos resultados radica en que al incrementar una mayor absorción de nutrimentos, promueve una maduración fisiológica más rápida de los frutales, lo cual es uno de los criterios de selección más aceptados en los viveros comerciales del trópico para trasplantar a los frutales a sitios permanentes.

Los hongos endomicorrízicos estimularon un mayor número de hojas en plantas inoculadas que en las no inoculadas, lo cual causó diferencias estadísticas altamente significa-

tivas (Apéndice B-5 y B-6). En el cultivar cera fue mayor el beneficio de la inoculación endomicorrízica que en el cultivar solo. Estas diferencias de respuesta entre los dos cultivares de papaya con las 19 cepas de hongos endomicorrízicos, probablemente están basadas en la relación huésped-hongo endomicorrízico, y en la eficacia de las cepas de hongos, ya que cada una de las cepas de endomicorriza probadas causaron efectos diferentes dentro de y entre cultivares. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ferrera-Cerrato y Macedo (1981), Mosse (1972) y por Hoeffner, *et. al.* (1983) quienes inocularon con *Glomus mosseae* y fertilizaron con 100 y 200 mg K/suelo a plantas de manzano. Sus resultados muestran que la adición de P no fue tan eficiente en promover el número de hojas y volumen radical, como la inoculación con hongos endomicorrízicos.

El área foliar siguió una tendencia similar a los otros órganos de la planta. Los tratamientos inoculados con hongos endomicorrízicos presentaron valores más altos que el testigo a los 90 días después del trasplante, teniendo su máxima expresión en el cultivar cera que en el cultivar solo. Una mayor producción de área foliar cita Allen (1982) al inocular el pasto *Bouteloua gracilis* con *Glomus fasciculatum* en invernadero. En concordancia con estos resultados, Granger, *et. al.* (1983) al inocular plantas de dos clones de manzano se obtuvieron diferencias estadísti-

cas altamente significativas en relación a las plantas no inoculadas, e incluso el área foliar de las plantas del clon M.7 fue más grande que la del clon MM.III. De igual forma, Plenchette, *et. al.* (1981) obtuvieron una mayor área foliar en plantas de manzano inoculadas con hongos en domicorrízicos que en los controles fertilizados y no fertilizados. Por su parte, Ferreira *et.al.* (1982) encontraron una mayor superficie foliar en plantas de cítricos ino culadas con hongos endomicorrízicos, siendo hasta 2 veces más el incremento en comparación con las plantas testigo.

En cuanto al efecto de los hongos endomicorrízicos en la formación y desarrollo general de la raíz se encontró una tendencia similar a lo reportado por Plenchette, *et. al.* y Ferreira, *et. al.* (1982) en el sentido de que se tiene una mayor producción de raíces en las plantas inoculadas que permite un equilibrio extraordinario entre el volumen de la raíz y la actividad de la misma. Esto se da como un resultado de la exportación de fotosintatos desde las hojas que poseen una mayor área foliar hacia las raíces (Sanni, 1976). En las raíces micorrizadas, Mosse (1973b) y Le tacon (1985) consignan que estas logran incrementar el poder de absorción de una raíz a través de sus hifas externas, las cuales pueden extenderse a distancias de 7 cm de la raíz (Safir, 1980).

Por otra parte, el peso seco total de las plantas ino culadas mostró que los hongos endomicorrízicos son capaces

de incrementar su biomasa al proporcionarles una mayor área y absorción de nutrimentos, los cuales influyen en el metabolismo de la planta para proporcionarle pesos secos de hasta 300% (Timmer y Leyden, 1978a). Con *Citrus aurantium* también se han obtenido incrementos considerables en biomasa seca de hasta 1149.09% con *Gigaspora calospora* (Botello, 1985). Por su parte, Kohashi (1979) indica que uno de los componentes fisiológicos del rendimiento son la acumulación de fotosintatos, que pueden expresarse como el peso seco total de la planta (rendimiento biológico).

Los resultados obtenidos de colonización endomicorrízica mostraron que todas las cepas de hongos endomicorrízicos empleadas fueron altamente infectivas y agresivas en la colonización radical interna, y altamente efectivas para estimular cambios metabólicos, positivos en la fisiología de las plantas, sobresaliendo en este aspecto *Glomus* sp. Zac-19, pues en todas las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en plantas de papaya cultivar cera fue siempre el mejor tratamiento (excepto en el área foliar). De igual forma, se presentaron diferentes respuestas de las plantas a cada uno de los hongos empleados en ambos cultivares. Esta variabilidad de respuesta de los cultivares a los hongos está estrechamente relacionada por la dependencia endomicorrízica de cada

cultivar y los efectos fisiológicos benéficos de los hongos a la planta (Azcón, 1981). Otro factor que fue determinante en la respuesta de los cultivares a la inoculación en endomicorrízica fue el genotipo de la planta huésped que determinó el grado de colonización y la dirección de la simbiosis, lo cual repercutió en la eficacia de las cepas de hongos endomicorrízicos y se manifestó en su infectividad y efectividad. Mosse y Hayman (1980) afirman que la respuesta de las plantas a la inoculación endomicorrízica está determinada por el genotipo de la planta huésped, la efectividad e infectividad del hongo, los requerimientos de fósforo de la planta y la cantidad de este elemento en forma disponible en el suelo.

En relación a las esporas, la población de éstas se incrementó significativamente, alcanzando su máxima producción a los 90 días. Una tendencia similar obtuvieron en fresa (González, 1986), yuca (Sánchez, 1986), frijol (Aguirre, 1985), y en leguminosas forrajeras (Lara, 1987).

## FASE II

Los resultados del efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-19 y de la fertilización NPK en plantas de papaya cultivar cera han mostrado que los hongos endomicorrízicos son de vital importancia para la eficiente nutrición mineral, al proporcionar a sus raíces por medio de

sus hifas una mayor superficie de contacto que exploró un mayor volumen de suelo y translocó con éxito los nutrientes minerales de las soluciones de suelo y el que fue adicionado como fertilizante. Esto tiene fundamento en que el tratamiento que fue fertilizado con 30-10-0 Kg/ha de NPK, lograron el mayor incremento de altura que fue de 271.4% y las plantas que fueron inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 alcanzaron un incremento de altura de 264.2%. En general todos los tratamientos que fueron inoculados y fertilizados obtuvieron un mayor incremento de altura que los tratamientos que únicamente fueron fertilizados.

Estos resultados resaltan la trascendencia de los hongos endomicorrízicos en el crecimiento de los frutales, pues sin adicionar fertilizante han estimulado una altura en las plantas que superó a todos los demás tratamientos que fueron fertilizados. Por lo tanto, estos hongos deben ser empleados en los viveros comerciales como fertilizantes biológicos y pueden complementar y/o substituir la fertilización química. De especial atención merece el hecho de que estos hongos proporcionaron tolerancia a las plantas para desarrollar eficazmente en presencia de altas concentraciones de potasio, pues es bien sabido que este elemento tiene un efecto desfavorable en el desarrollo de

este frutal, por ejemplo, las plantas del tratamiento que fue fertilizado con 15-10-10 Kg/ha de NPK, su incremento en altura fue de 155.8%, pero cuando este mismo tratamiento fue inoculado con *Glomus* sp. Zac-19 su incremento en al tura fue de 203.8%. Por otra parte, es importante mencionar que altas dosis de fertilización (en especial el fósfo ro) deprimen el buen funcionamiento de la simbiosis, por lo que se recomienda bajar la dosificación de este nutrien te en este tipo de estudios. Lo que si queda bien estable cido es que el empleo de cepas de hongos endomicorrízicos en la producción de frutales cultivados en vivero es indis pensable para mejorar su nutrición al ayudar a la planta a aprovechar más eficientemente los elementos propios del suelo o los aplicados. De esta forma, a largo plazo los rendimientos aumentan significativamente, lo cual compensa los costos adicionales (CIAT, 1986).

En lo que respecta al diámetro del tallo de las plantas se encontró que el de las plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 fue mayor que el de los tratamientos fertilizados; inoculados más fertilizados y el testigo. Estos resultados muestran que los hongos vesículo-arbusculares son fundamentales para la completa nutrición de los frutales, pues uno de los componentes fisiológicos que más influyen en el rendimiento biológico y económico de los árboles fru tales es la acumulación de fotosintatos en el tallo, lo

cual repercute en el vigor y desarrollo de la planta y se manifiesta morfológicamente (Howeler, 1983). En aguacate se han obtenido incrementos en el diámetro de los tallos de hasta tres veces más que las plantas control (Menge, 1978). Por otra parte, Mosqueda (1970) efectuó un experimento preliminar sobre fertilización NPK para determinar a que niveles de fertilización respondía la papaya en cuanto a crecimiento y rendimiento se refiere. Sus resultados muestran que hubo respuesta significativa en el grosor de tallo a aplicaciones de 100 Kg/ha de nitrógeno, se encontró también una correlación altamente significativa entre el grosor del tallo y el rendimiento.

En cuanto al número de hojas producidas, se encontró que *Glomus sp.* Zac-19 fue capaz de estimular el mismo número de hojas que el de los tratamientos que fueron fertilizados con 30-10-0 Kg/ha de NPK y al que fue inoculado y fertilizado con 15-10-10 Kg/ha NPK. Estos resultados coinciden con la de varios autores (Howeler, *et. al.* 1979; Fenster, *et. al.* (1979) quienes señalan que las asociaciones endomicorrízicas pueden ser especialmente beneficiosas en América tropical, donde los principales limitantes químicos del suelo son las deficiencias de fósforo, nitrógeno y potasio. Planchette, *et. al.* (1981) encontraron un mayor número de hojas y superficie foliar en plantas inoculadas de manzano que en las plantas testigo, pero en el

tratamiento fertilizado e inoculado se contabilizaron hasta dos veces más el número de hojas que en los demás tratamientos. El número y tamaño de las hojas de las plantas frutales influyen en su crecimiento debido a que es mayor la acumulación y distribución de fotosintatos en las plantas y se refleja en su rendimiento biológico, sin embargo, los hongos endomicorrízicos estimulan una mayor producción de hojas al proveer mineralmente a la planta con elementos retenidos en las arcillas, los cuales provocan cambios metabólicos que influyen en todo el proceso fotosintético y da por resultado una mayor tasa relativa de crecimiento (Miithorpe y Moorby, 1982).

En lo que se refiere al área foliar de las plantas de papaya, los resultados mostraron el efecto notable de *Glomus sp.* Zac-19, pues estimuló un área fotosintetizante similar al del tratamiento fertilizado con 30-10-0 Kg/ha de NPK. En cuanto al área foliar de las plantas testigo fue hasta dos veces menor en comparación con el tratamiento que se inoculó con *Glomus sp.* Zac-19. Estos resultados indican que las plantas por sí solas no son capaces de extraer los contenidos totales de nutrimentos que se encuentran en la solución del suelo y los adicionados, y que son los hongos endomicorrízicos los que compensaron estas deficiencias de las plantas al explorar un mayor volumen de suelo para la absorción de NPK y otros elementos, por lo cual se obtuvieron incrementos significativos

para esta variable en el tratamiento inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 y en los tratamientos inoculados más fertilizados. Por otra parte, se observó que un incremento en el nivel de fertilizante correspondía a un aumento en el área foliar, esto es común en los cultivos que son fertilizados, pues cuando la alimentación de la planta es plétórica, su rendimiento es muy elevado y la totalidad de los glúcidos fotosintetizados es proporcional al fertilizante empleado (Azcón y Barca, 1980). Sin embargo, los altos niveles de NPK en el suelo, hacen a la planta inmune a la colonización endomicorrízica (Hayman y Mosse, 1981), por lo cual en los tratamientos que fueron fertilizados e inoculados con estos hongos fue inferior su área foliar en comparación del tratamiento que fue inoculado con *Glomus sp.* Zac-19 y no fertilizado.

El volumen radical de las plantas inoculadas con los hongos vesículo-arbusculares fue estadísticamente igual al del tratamiento fertilizado con 30-10-0 Kg/ha NPK, siendo estos dos los tratamientos que promovieron el mayor volumen radical. En cuanto a los tratamientos que fueron inoculados y fertilizados se vió que la interacción fue benéfica ya que se encontró un mayor volumen radical en todos los tratamientos bajo estas condiciones, excepto en los tratamientos que contenían altos niveles de nitrógeno y fósforo. Estos resultados concuerdan con los de Matare (1978) que encontró que la inoculación con *Glomus sp.* in-

crementó en forma considerable el desarrollo radical de Citrange Troyer, mandarina Cleopatra, Tangelo Swingle y aguacate var. Fuerte. La importancia de los hongos endomicorrízicos sobre el volumen radical estriba en que al estimular una mayor cantidad de raíces e incrementar su superficie de absorción, éstas se modifican morfológicamente y se vuelven más activas para explorar, absorber y translocar los nutrimentos que se encuentran en la solución del suelo o los adicionados en forma química.

El efecto observado del incremento en peso de las raíces que fueron inoculadas, fertilizadas e inoculadas en comparación de los testigos y de las que únicamente fueron fertilizadas tiene vital importancia, puesto que se demuestra con estos resultados que las plantas por sí solas no son capaces de extraer todo el fertilizante adicionado, ocasionando pérdidas económicas. Esto no significa que los elementos NPK estén ausentes en el suelo, sino que puede ser que tales nutrientes no se encuentran en forma apropiada para que la planta los aproveche o que su disolución sea muy lenta, y es aquí donde las endomicorrizas han mostrado su importancia. Resultados similares han sido obtenidos con otros nutrimentos: Rhodes y Gerdemann (1978b) al estudiar la translocación de  $S^{35}$  en la planta total para el tratamiento con micorriza y sin ella fue de 214.1 y 19.2  $mg^{-1}$  por peso seco, respectivamente. Bo-

wen *et al.* (1974) reportan que en plantas de *Araucaria cunninghamii* inoculadas con endomicorriza se tiene una absorción de zinc 2.6 veces más que cuando no se inoculó la micorriza.

En la mayoría de las investigaciones en plantas inoculadas con hongos endomicorrízicos y fertilizadas con altas concentraciones de fósforo y nitrógeno, se han observado efectos negativos del fertilizante para el establecimiento y desarrollo de este hongo (Mosse, 1973; Gerdemann, 1975; Hayman, 1982). Los resultados aquí obtenidos concuerdan con estas observaciones. De igual forma, ha quedado demostrado que la cepa de hongos endomicorrízicos identificada como *Glomus sp.* Zac-19 es altamente efectiva e infectiva, puesto que logró incrementar significativamente todas las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas. Debido a lo anterior, la aplicación de la tecnología endomicorrízica en el manejo de viveros puede tener resultados extraordinarios. En caso particular, el rendimiento biológico de las plantas de papaya que fue estimulado por estos hongos ha sido similar al proporcionado por el tratamiento fertilizado con 30-10-0 Kg/ha NPK, con lo que de esta forma hay ahorros considerables en la propagación de plantas frutales, debido a que se consiguen aumentos en la producción vegetal en poco tiempo.

Mediante numerosos experimentos se ha demostrado que la intensidad de la micorrización siempre es reducida

cuando la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo aumenta. Hayman (1981) menciona que los cambios en la fertilidad del suelo debido a adiciones de fertilizantes minerales o materia orgánica afectan marcadamente la actividad de la población micorrízica del suelo en términos de la cantidad de la raíz colonizada y el número de esporas producidas. Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que las altas concentraciones de fertilizantes NPK tienen efectos negativos sobre la formación micorrízica, lo cual repercutió sobre el porcentaje de colonización y el número de esporas producidas. Resultados similares han sido obtenidos por Hayman (1970, 1980), quien encontró que los fertilizantes completos (NPK) crean efectos negativos sobre la intensidad de la colonización micorrízica y el número de esporas. Por lo tanto, suelos con alta fertilidad conducen a una pobre colonización, así que es muy improbable encontrar abundante micorriza en suelos cultivados y fertilizados intensamente (Khan, 1972b). Cuando la alimentación de la planta en estos tres elementos (NPK) es pletórica, su rendimiento es muy elevado y la totalidad de los glúcidos fotosintetizados es empleada por la planta en formar compuestos altamente energéticos. La cantidad de glúcidos presentes en las raíces disminuye y los hongos micorrízicos no pueden alimentarse de estos compuestos carbonados y desaparecen (Azcón y Barea, 1980). Por otra parte, también se observó que *Glomus* sp. Zac-19

ayudó a las plantas a aprovechar más eficientemente los insumos aplicados dando por resultado un mejor desarrollo de las plantas. Sin embargo, las posibilidades de tener éxito en el manejo de las micorrizas en frutales, está en función de que el abono químico no sea demasiado elevado. En estas condiciones el efecto de la inoculación micorrízica serán máximos y serán aún mayores si se emplean cepas de micorrizas altamente efectivas como lo ha demostrado ser *Glomus sp. Zac-19*.

### FASE III

La dinámica de aparición de las estructuras colonizantes del hongo endomicorrízico *Glomus sp. Zac-19* está en función del desarrollo de la planta. A los 10 días de establecido el experimento, solamente ocurrieron las hifas en la raíz de plantas de papaya. Los arbuscúlos se encontraron hasta los 14 días y su frecuencia máxima fue de 82.3% a los 43 días. Después de esta fecha hubo una reducción en su frecuencia. Las vesículas hicieron su aparición en las células corticales a los 20 días y su frecuencia máxima fue de 61.2% a los 64 días.

La producción de arbuscúlos fue mayor durante el desarrollo inicial de las plantas de papaya, y en su madurez ocurrió un aumento en la frecuencia de vesículas. Estas observaciones coinciden con resultados publicados por Saif

y Khan (1977); Sanni (1976); Khan (1977), Azcón y Barea (1980).

En general después de los 50 días de la inoculación, la colonización se mantiene constante. Esto probablemente se deba a la formación de nuevas raíces por la planta, ya que después de esta fecha continuó el crecimiento de la raíz (Samson, 1980).

Por otro lado, Saif (1977) menciona tres fases en el desarrollo de la colonización de la endomicorriza en *Cucurbita moschata* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Solanum melongena* L., la primera fase ó fase lenta durante los primeros 20-30 días, la segunda entre los 35-45 días, cuando ocurre un rápido incremento en la colonización y la tercera al final del desarrollo de las plantas, que es una fase constante hasta la formación de frutos. En el caso de las plantas de papaya cultivar cera, la primera fase se considera de los 10 a los 20 días después de la inoculación, la segunda de los 20 a los 43 días y después de esta fecha, la fase constante o final (Fig. 32).

La adición de 60 Kg de fósforo/hectárea afectó negativamente la dinámica de colonización de los hongos endomicorrízicos. Se observó un retraso de 10 días en la aparición de las estructuras endomicorrízicas en comparación cuando las plantas no fueron fertilizadas. A los 14 días de establecido el experimento, solamente ocurrieron las hifas en

el sistema radical de las plantas de papaya. Los arbusculos se encontraron hasta los 20 días y su frecuencia máxima fue de 50% a los 43 días. A los 29 días aparecieron las vesículas y su frecuencia máxima fue de 27% a los 57 días.

Mediante numerosos experimentos se ha demostrado que la intensidad de la colonización y la frecuencia de las estructuras del hongo es reducida cuando la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo aumenta. Cuando la alimentación de la planta en estos dos elementos es abundante, su rendimiento es muy elevado y la totalidad de los glúcidos fotosintetizados es empleada por la planta en fabricar compuestos proteicos o fosforados. La cantidad de glúcidos presentes en las raíces disminuye y los hongos endomicorrízicos no pueden alimentarse de estos compuestos carbonados lo cual da origen a una inhibición de la aparición y frecuencia de las estructuras colonizantes, incluso el hongo puede morir debido a que es un simbiote obligado.

En resumen a todos los resultados encontrados, se ha observado que los hongos endomicorrízicos son de vital importancia durante el establecimiento y propagación de plantas de papaya cultivadas en vivero, debido a que fueron capaces de incrementar todas las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas. Por otra parte, las prácticas modernas de vivero son muy desfavorables a estos hongos, por lo que se requiere un cambio importante en las técnicas empleadas

das en los viveros. Desde el empleo de cepas altamente efectivas e infectivas después de la fumigación del suelo en el vivero, hasta su inoculación directa en el campo para mejorar la productividad de los cultivos, disminuyendo el nivel de fertilización y asegurando un mejor estado sanitario.

## VII. CONCLUSIONES

1. Las cepas de hongos endomicorrízicos vesículo-arbuscular probadas causaron efectos notables en todas las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en las plantas de papaya cultivar cera y solo.
2. Se observaron diferencias en los parámetros evaluados entre cultivares y hongos endomicorrízicos, siendo la mejor simbiosis establecida entre el cultivar cera y *Glomus sp. Zac-19*.
3. La cepa de hongos endomicorrízicos identificada como *Glomus sp. Zac-19* fue la más efectiva e infectiva para estimular incrementos en cada una de las variables evaluadas de las plantas de papaya.
4. Las plantas de papaya inoculadas con *Glomus sp. Zac-19* maduraron más rápido que las plantas sin micorriza, lo que acortó en 20 días su tiempo de trasplante.
5. *Glomus sp. Zac-19* fue eficiente para promover el incremento en porcentaje de la altura de las plantas de papaya, siendo este incremento igual estadísticamente al estimulado por la adición de 30-10-0 Kg/ha de fertilización NPK.
6. *Glomus sp. Zac-19* estimuló un grosor de tallo de 16.2 mm, siendo equivalente al proporcionado con 15-10-10

Kg/ha de fertilización NPK.

7. El área foliar producida en plantas de papaya fue hasta dos veces más cuando fueron inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 que cuando no lo fueron (plantas testigo).
8. De estas respuestas vegetativas queda clara la necesidad de inocular hongos endomicorrizicos V-A a plántulas de papaya producidas en vivero.
9. En general, el rendimiento biológico de las plantas de papaya estimulado por *Glomus sp.* Zac-19 es similar al proporcionado por el tratamiento fertilizado con 30-10-0 Kg/ha de fertilización NPK.
10. Los altos niveles de fertilización NPK alteran negativamente la simbiosis, ocasionando efectos depresivos para el establecimiento y desarrollo de las micorrizas.
11. Existe una estrecha relación entre el estado de desarrollo de las plantas de papaya y la aparición y frecuencia de estructuras colonizantes de los hongos endomicorrízicos. Durante el desarrollo vegetativo (30 días después del trasplante e inoculación) domina la presencia de arbuscúlos y a los 90 días la de vesículas y esporas.
12. Los cambios más marcados en la aparición de estructuras de la micorriza V-A se presentan a los 43 días de haber

sido inoculadas las plantas.

13. Estos resultados muestran que los hongos endomicorrízicos son de vital importancia en la nutrición mineral de los frutales y que las posibilidades de tener éxito en su manejo requiere un cambio importante en la tecnología de viveros, desde el empleo de cepas altamente infectivas y competitivas después de la desinfección del suelo en el vivero, hasta su inoculación directa en el campo del trópico húmedo mexicano.
  
14. La adición de fertilizantes es beneficioso para los cultivos, sin embargo, la mayoría de los suelos marginales son cultivados por pequeños agricultores que no pueden comprar cal o fertilizantes. Por lo tanto, el manejo de las micorrizas es una tecnología biológica apropiada para quien cultiva tierras marginales.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, M.J.F. 1985. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris*) al inocularse con micorriza vesículo-arbúscular (V-A) y dinámica de las estructuras del hongo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 132 pp.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor. México. 491 pp.
- Allen, M.F., Moore Jr., T.S., y Christensen, M. 1980. Phytohormone changes in *Boutelona gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: I. Cytokinin increases in the host plant. Can. J. Bot. 58: 371-374.
- Allen, M.F. 1982. Influence of vesicular arbuscular mycorrhiza on water movimient through *Boutelona gracilis* (H. B. K.). Lag ex steud. New Phytol 91: 191-196.
- Alwis, D.P. y Abeynayake, K. 1980. A survery of mycorrhiza in some forest trees of Sri. Lanka. En: Tropical mycorrhizal research (ed. Mikola. P.). pp. 146-153. Oxford, University Press. New York.
- Anuario FAO de producción. 1984. Dirección de estadística, Departamente de Política económica y social, FAO. Vol. 36. 83-87 p.
- Awada, W.M. 1977. Relations of nitrogen, phosphorus, and potasium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. J. Amer. Soc. Hort. Sci 102: 413-418.
- Azcon-G. C. y Barea, J.M. 1980. Micorrizas. Investigación y Ciencia. Barcelona, España. 47: 8-16.

- Azcon, J. M. 1981. Effect of carbofuran and other pesticides on vesicular arbuscular mycorrhiza in peanuts. *Nematropica* 7: 14-17.
- Baltruscht, H. y Schombeck, F. 1975. Untersuchungen über den Einfluß der endotrophen mycorrhiza auf den Befall von tabak mit *Thielaviopsis basicola*. *Phytopath. Z.* 84: 172-188.
- Barrows, J. B. y Roncadori, R.W. 1977. Endomycorrhizal synthesis by *Gigaspora margarita* in poinsettia. *Mycol.* 69: 1173-1184.
- Benson, N.R. y Covey, Jr. R.P. 1976. Response of apple seedlings to zinc fertilization and mycorrhizal inoculation. *Hort Science* 11: 252-253.
- Bevege, D.I. 1968. A rapid technique for clearing tannins and staining intact roots for detection of mycorrhizas caused by *Endogone* sp. and some records of infection in Australian plants. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 51: 808-810.
- Bohn, W. 1979. Methods of studying root systems. Springer Verlag. Germany. 127 p.
- Botello, G.J.J., Ferrera-Cerrato, R. y García, S.H. 1981. Respuesta de *Citrus aurantium* a la inoculación con hongos endomicorrízicos V.A. utilizando gradientes de inóculo. Resúmenes XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Oaxaca. México. 102-103.
- Bowen, C. D., Skinner, M. F. y Bevege, D.I. 1974. Zinc uptake by mycorrhizal and uninfected roots of *Pinus radiata* and *Araucaria cunninghamii*. *soil biol. Biochem* 6: 141-144.
- Bridge, C.W. 1980. The ecology of fungi. C.R.C. Press Inc. Florida, E.U. p. 187-190.

- Butler, E. J. 1939. The occurrence and systematic position of the vesicular arbuscular type of mycorrhiza fungi. *Brit. Mycol. Soc. Trans.* 22: 274-301.
- Callow, J.A., Capaccio, L. C. M., Parish, G. y Tinker, P. B. 1978. Detection and estimation of polyphosphate in vesicular arbuscular mycorrhiza. *New Phytol.* 80: 125-134.
- Carling D. E. y Brown, M. F. 1981. Anatomy and physiology of vesicular arbuscular and nonmycorrhizal roots. *Phytopathol.* 3: 1108-1114.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1982. Cassava program. Annual report. 1982.
- Chilvers, M. T. y Daft, J. F. 1982. Effect of temperature low in the development of association on the vesicular arbuscular mycorrhizae between *Glomus caledonium* and *Allium cepa*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 97: 37-38.
- Clough, K.S. y Sutton, J.C. 1978. Direct observation of fungal aggregates in sand dune soil. *Can. J. Microbiol.* 24: 333-335.
- Comisión Nacional de Fruticultura, 1978. Fruticultura mexicana. I. Información básica. Subdirección de difusión. 60 p.
- Comisión Nacional de Fruticultura, 1985. Valorización de la producción frutícola nacional de 36 especies frutícolas. 87 p.
- Cooke, R. 1977. The biology of symbiotic fungi. Wiles and Sonds. London New York. p. 185-202.
- Cooper, K. M. y Tinker, P. B. 1978. Translocation and transfer of nutrients in vesicular arbuscular mycorrhizas. II Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. *New Phytol.* 81: 43-52.

- Covey, P. R., Koch, L. B. y Larsen, J. H. 1981. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth of apple and corn in low-phosphorus soil. *Phytopathology*. 71: 712-715.
- Cox, G. y F. Sanders. 1974. Ultrastructure of the host-fungus interface in a vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phytologist*. 73: 901-908.
- Cox, G. y Tinker, P. B. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytologist*. 77: 371-378.
- Cress, W. A., Throneberry, G. D. y Lindsey, D. L. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. *Plant Physiology*. 64: 484-487.
- Daft, M. J. y El-Ghahmi, A.A. 1974. Effects of *Glomus* infection on three legumes. en: F. E. Sanders, B. Mosse, and P. B. Tinker (eds) *Endomycorrhizas*. Academic Press, London. 580-590.
- Davis, R. M., M. H. Edriss y D. H. Burger. 1984. Influence of mycorrhizal fungus on cytoquinine production in sour orange. *Phytopathology*. 62: 172-175.
- Deal, D. R., Boothroyd, C. W. y Mai, W. F. 1972. Replanting of vineyards and its relationship to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Phytopathology*. 62: 172-175.
- Dehne, H. W. y Schonbeck, F. 1975. The influence of endotrophic mycorrhiza in plants tomato colonization by *Fusarium oxysporum*. *Z. Pflkrankh. Pflschutz*. 82: 630-632.
- Dexheimer, J., Gianinazzi, S. y Gianinazzi-Pearson, V. 1979. Ultrastructural cytochemistry of the host fungus interfaces in the endomycorrhizal association *Glomus mosseae* - *Allium cepa*. *Z. Pflanzenphysiol.* 92: 191-206.

- Dexheimer, J. 1982. Utilization of mycorrhizal fungi in a agriculture. J. Botany 61: 1015-1024.
- Fassbender, H. W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José Costa Rica. 3a. reimpresión. 398 p.
- Fenster, W. E. y Leon, A. 1979. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. En: Seminar on Phosphate rock for direct application IFDC. Muscle Shoals. Alabama 174 p.
- Ferreira, J. J., Polero, H. J. y Jontza, C.A. 1982. Acción de las micorrizas vesicular-arbusculares en la nutrición y crecimiento del portainjerto cítrico limonero rugoso. Rev. Fac. Agronomía 3: 393-298.
- Ferrera-Cerrato, R. y Macedo, A.S. 1981. Susceptibilidad de dos variedades de cebolla (*Allium cepa*) a 7 especies de hongos endomicorrícicos vesfcular-arbuscular (V-A). XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (29 Noviembre al 3 de Diciembre, 1981. San Luis Potosí). Memorias I. 477-484.
- Ferrera-Cerrato, R. 1983. La semana de la Hierba. Simposium. La sequía y su impacto en la Agricultura. La micorriza vesículo arbuscular en los diferentes agroecosistemas. 51 p. 21 y 22 de Noviembre. Universidad Autónoma Chapingo, México. 1983a.
- Ferrera-Cerrato, R. Los hongos micorrícicos en el desarrollo agronómico. Mesas redondas. La Microbiología 3 de Junio. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 40 Aniversario del Colegio Nacional. 1983b.
- Foyet, J. J. 1972. Cultivo de plantas tropicales. Limusa 234 p.
- Geddeada, Y. I. 1983. Aple mycorrhizae and their effects on growth and nutrient concentration in seedlings grow in tho soils with varied levels of P. Tesis de Doctorado. Oregon State University. 81 p.

- Gerdemann, J. W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Ann. Rev. Phytopatol* 6: 397-418.
- Gerdemann, J. W. y Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- Gerdemann, J. W. 1974. Mycorrhizae. p. 205-217 en: *The plant root and its environment*. E.W. Carlson (ed). University Press. E.E.A. 691 p.
- Gerdemann, J. W. y Trappe, J. M. 1974. The Endogonaceae in the pacific northwest. *Mycol. Mem.* 5.
- Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. p 575-591 en: *The development and function of roots*. Torrey, G. J. y D.E. Carson (eds). Academic Press, New York.
- Gerdemann, J. W. 1976. The significance of vesicular-arbuscular mycorrhizae on plant nutrition p. 125-129. en: T.A. Thompson., R. V. Bega y P.E. Nelson (eds). *Root disease of soil borne plant pathogens*. University of California.
- Gianinazzi, S. 1982. L'endomycorrhization controlle en agriculture, en horticulture et en arboriculture. *Problemes et progres*. p 231-240 en: *Les mycorrhizes biologie et utilization*. Ed. INRA.
- Gianinazzi-Pearson, V., y Gianinazzi, S. 1978. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Effect of mycorrhiza formation and phosphorus nutrition on soluble phosphatase activities in onion roots. *Physiol Veg.* 14: 833-841.
- Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V. y Dexheimer, J. 1979. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza. III. Ultrastructural localization of acid and alkaline phosphatase in onion roots infected by *Glomus mosseae*. *New Phytol.* 82: 127-132.

- Gianinazzi, S., Morand, D., Gianinazzi-Pearson, V. y Trouvelot, A. 1980. L' e-domycorrization du framboisier: ecologie, effect sur la croissance des plantes et. intereect en pepiniere. p. 157-163. en: Productions spontanees. Colloque Colmar.
- Gianinazzi-Pearson, V. y Gianinazzi, S. 1981. Formation of endomycorrhizas by *Glomus mosseae* on *Ananas ap.* J. Fruticulture Tropical. Brazil. 17: 126-131.
- Gilmore, A. E. 1971. The influence of endotrophic mycorrhizae on the growth of peach seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 35-38.
- González, S. y Barrios, S. R. A. 1983. Producción de inóculo de micorrizas arbusculares. Rev. Lat-Amer. Microbiol. 25: 181-187.
- González, Ch. Ma. del C. 1986. Estudio de la asociación en domicorríca en cuatro cultivares de fresa provenientes del cultivo *in vitro*. Tesis Profesional. UNAM. 137 p.
- Graham, G. H. 1982. Effect of citrus root exudates on germination of chlamydozporas of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeum*. New Phytol. 36: 360-361.
- Granger, R. L., Plenchette, C., y Fortin, J. A. 1983. Effect of vesicular-arbuscular (V-A) endomycorrhizal fungus *Glomus epigaeum* on the growth and leaf mineral content of two apple clones propagated *in vitro*. Agric. Ca-. 39: 16-17.
- Gray, L. E. y Gerdemann, J. W. 1969. Uptake of phosphorus-32 by vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil 30: 415-422.
- Gray, L. E. y Gerdemann, J. W. 1975. Uptake of sulphur-35 by vesicular arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil 30: 415-422.

- Guzman-Plazola, R. y Ferrera-Cerrato, R. 1984. The simbiosis *Rhizobium Glomus* in *Leucaena leucocephala*. 6Th Nort American Conference on mycorrhizae. Oregon, USA.
- Hardy, F. 1970. Edafología tropical. Herrero. México. 177 p.
- Hall, I. R. 1980. Effect of applied nutrients and endomycorrhizal on Brazilian sour orange seed with *Glomus mosseae*. Trans. Brit. Mycol. Soc. 175: 435-462.
- Harley, J. L. 1948. Uptake of phosphate by excised mycorrhizal roots of the beech. New Phytol. 53: 240-252.
- Harley, J. L. 1968. The absorption of phosphate and potassium by beech mycorrhizas. New Phytol 58: 281-298.
- Harley, J. L. 1969. The Biology of mycorrhiza. 2ed. Leonard Hill London. 245 p.
- Hayman, D. S. 1970. *Endogone* spores numbers in soil and vesicular-arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatments. Trans. Br. Mycol. Soc. 54: 53-63.
- Hayman, D. S. y Mosse, B. 1972. Plant responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. III. Increased uptake labile P from soil. New Phytol 71: 41-47.
- Hayman, D. S. 1974. Plant growth response to vesicular arbuscular mycorrhiza. VI. Effect of light and temperature. New Phytol 73: 71-80.
- Hayman, D. S., Barca, J. M., y Azcon, R. 1976. Vesicular arbuscular mycorrhiza in Southern Spain: its distribution in crops growing in soil of different fertility. Phytol. medit. 15: 1-6.

- Hayman, D. S. 1979. Endomycorrhizae. p 401-441 en: Interactions between non pathogenic soil microorganism and plants. Domengues y Kruppa (eds). Elsevier Scientific Publishing.
- Hayman, D. S. 1980. Mycorrhizae and production of crops. *Nature* 287: 487-488.
- Hayman, D. S. 1981. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungi. En: Symposium on aspects of vesicular-arbuscular mycorrhizae and plant disease research. New Orleans, Louisiana. August 4, 1981. *Phytol* 72: 1119-1125.
- Hayman, D. S. y Mosse, B. 1981. Spore populations and infectivity of vesicular arbuscular micorrhizal fungi in New South Wales. *Aust. J. Bot.* 27: 227-233.
- Hayman, D. S. 1982. Endomycorrhizae. p 401-442. en: Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants. Domenguez Y. R. y S. W. Krupa (eds). Elsevier Amsterdam.
- Hernández, E. 1981. Los cultivos tropicales y subtropicales. GT editor. Madrid. 417 p.
- Hoeffner, E. F., Koch, B. L. y Covey, R. P. 1983. Enhancement of growth and phosphorus concentrations in apple seedlings by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *J. Amer. Hort. Sci.* 41: 57-64.
- Holevas, C. D. 1966. The effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on the uptake of soil phosphorus by strawberry (*Fragaria* sp. var. Cambridge Favourite) *J. Hort. Sci* 41: 57-64.
- Holley, J. D. y Peterson, R. L. 1979. Development of vesicular arbuscular mycorrhiza in beach roots. *Can. J. Bot.* 57: 1960-1978.

- Howelwer, R. H. 1983. La función de las micorrizas vesículo-arbusculares en la nutrición fósforica de yuca. *Suelos Ecuatoriales* 2: 51-61.
- Howelwer, R. H., Edwards, D. G. y Asher, C. J. 1979. The effect of soil esterilization and mycorrhizal inoculation on the growth nutrient uptake and critical phosphorus concentration of cassava. *International Symposium of Tropical Root crop*. Manila Philippines. 223-237 p.
- Hughes, M., Chaplin, H. M. y Martín, W. Ll. 1979. Influence of mycorrhiza on the nutriton of red raspberries. *Hort Science* 14: 521-523.
- Iloba, C. The effect of trigluralin on the formation of ectotrophic mycorrhiza in some pines species. 1. Toxicity to mycorrhizal forming fungi. *EUR. J. For. Pathol.* 7: 47-51.
- Janos, D. P. 1980. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. *Ecology* 61: 151-162.
- Janos, D. P. 1984. Methods for vesicular arbuscular mycorrhiza research in the lowland wet tropics. 173-187 en: *Physiological ecology of plants of the wet tropics (tasks for vegetation science 12)*, Junk, the Hague. Medina, Mooney y Vázquez Yañes (eds).
- Jackson, N. E., Franklin, R. E. y Miller, R. H. 1973. Effects of VA mycorrhizae on growth and phosphorus content of three agronomic crops. *Soc. Proc.* 36: 64-67.
- Kariya, N. y Toth, R. 1981. Ultrastructure of the mycorrhizal association formed between *Zea diploperensis* and *Glomus fasciculatum*. *Mycol.* 73: 1027-1039.
- Khan, A. G. 1972. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal associations on growth of cereals. 1. Effect on maize growth *New Phytol.* 71: 613-619.

- Khan, A. G. 1974. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes of *Endogone* spores in adjacent soils. *J. Gen. Microbiol.* 81: 7-14.
- Khan, A. G. 1977. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. X. Responses to *Stylosanthes* and maize to inoculation in unsterile soils. *New Phytol* 78: 277-288.
- Kinden, D. A. y Brown, M. F. 1975. Electron microscopy of vesicular arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. IV. Host-endophyte interactions during arbuscular deterioration. *Can J. Microbiol.* 21: 1930-1939.
- Kinden, D. A. y Brown, M. F. 1976. Electron microscopy of vesicular arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. IV. Host-endophyte interactions during arbuscular development. *Can. J. Microbiol.* 22: 64-75.
- Kinden, D. A. y Morton, F. B. 1975. Development of poinsettia as influenced by endomycorrhizae. *Florists Rev* 37: 79-81.
- Kleinschmidt, G. D. y Gerdemann, J. W. 1972. Stunting of citrus seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. *Phytopatol* 62: 1447-1453.
- Koch, B. L., Covey, R. P. y Larsen, H. J. 1982. Response of apple seedlings in fumigated soils to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhiza. *HortScience* 17: 232-233.
- Kohashi-Shibata, J. 1979. Fisilogía. en: Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. E. M. Englemann (ed). Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. p. 39 a 58.
- Kormanik, P. P. 1980. Procedures and equipment for staining large numbers of plant roots for endomycorrhizal assay. *Can. J. Microbiol.* 26: 536-538.

- Kormanik, P. P., W. C. Bryan, y R. C. Schults, 1978. Endomycorrhizal inoculation during trasplanting improves growth of vegetatively propagated yellow poplar. *Plant propagator* 23: 4-5.
- Kruckelmann, H. W. 1975. Effects of fertilizers, soils, soil tillage and plant species on frequency of *Endogone* chlamydospores and mycorrhizal infection in arable soils. En: *Endomycorrhizas*. F. E. Sanders, B. Mosse, y P. B. Tinker (eds). p. 511-525. Academic Press London.
- Lambert, D. H., Stouffer, R. F. y Cole, H. Jr. 1979. Stunting of peach seedlings following soil fumigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 433-435.
- Lara, F. V. y Ferrera-Cerrato, R. 1986. Hongos formadores de micorriza en algunas leguminosas forrajeras de las zonas áridas y semiáridas de México. p. 61. Resúmenes del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 26-29 de Noviembre, Manzanillo, Colima, México.
- La Rue, J. H., McLellan, W. D. y Peacock, W. L. 1975. Mycorrhizal fungi and peach nursery. *Calif. Agric.* 29: 6-7.
- Lawrence, G. H. M. 1951. *Taxonomy of vascular plants*. MacMillan, New York. 823 p.
- Le Tacon, F. 1985. Las micorrizas una cooperación entre plantas y hongos. *Mundo Científico* 49: 776-784.
- Leon, J. 1968. *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 487 p.
- Lewis, D. H. 1973. Concepts in fungal nutrition and the origin of biotrophy. *Biol. Rev.* 48: 261-278.

- Macdonel, M. C. E. 1962. Estudio morfológico de micorizas en *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus patula* Schm. cultivados en vivero. Tesis Prof. UNAM. 87 p.
- Macdonald, R. M. y Lewis, M. 1978. The occurrence of some acid phosphatase and dehydrogenases in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. *New Phytol.* 80: 135-141.
- Mandujano, B. R. A. 1980. Comparación de dos cultivares locales y dos cultivares cubanos de papaya *Carica papaya* L. en tres densidades de población. Tesis Profesional. Chapingo, Méx. 66 p.
- Marks, G. C. y T. T. Kozlowski, 1973. Ectomicorrhizae. Their ecology and physiology. Academic Press. New York 312 p.
- Marx, D. H. y Bryan, W. C. 1971. Influence of ectomicorrhizae on survival and growth of aseptic seedlings of lob-lolly pine at high temperatures. *For. Sci.* 17: 37-41.
- Matare, R. 1978. The effect of mycorrhizal fungi on growth and root development of seedlings. *Information Bulletin, citrus and subtropical fruit Research Institute* 73: 13-14.
- Matare, R. y Hatting, M. J. 1978. Effect of mycorrhizal status of avocado seedlings on root caused by *Phytophthora cinamoni*. *Plant and Soil.* 49: 433-435.
- Melin, E. 1953. Physiology of mycorrhizal relations in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol* 4: 325-346.
- Menge, J. A. 1976. Development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in crop plants. *Can J. Bot.* 51: 2487-2493.

- Menge, J. A., Lembright, H., y Johnson, E. L. V. 1977. Utilization of mycorrhizal fungi in citrus nurseries. Proc. Int. Soc. Citriculture 1: 129-132.
- Menge, J. A., Johnson, E. L. V. y Platt, R. G. 1978a. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. New Phytol. 81: 553-560.
- Menge, J. A., Davis, R. M., Johnson, E. L.V., y Zentmyer, G. A. 1978b. Mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injure in avocado. Calif. Agric. 32: 6-7.
- Menge, J. A., Steirle, D., Bagyaraj, D. J., Johnson, E. L. V., y Leonard, R. T. 1978c. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection New Phytol. 80: 575-578.
- Menge, J. A., La Rue, J., Labanauskas, C. K. y E. L. V. Johnson, 1980. The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings growth and nutrition with six fertilizer treatments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 400-401.
- Menge, J. A., Jarrell, W. M., Labanauskas, C. K., Ojala, J. C., Huszar, C., Hohnson, E. L. V. y Sivert, D. 1982. Predicting mycorrhizal dependency of troyer citrange on *Glomus fasciculatum* in California citrus soils and nursery mixes. Soil. Sci. Soc. Am. J. 46: 762-768.
- Mezal, J. y Reid, C. P. P. 1973. The growth of selected mycorrhizal fungi in response to induced water stress. Can. J. Bot. 51: 1579-1588.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur. Argentina p. 188-192.

- Morandi, D., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V. 1979. Int'eret de l'endomycorrhization dans la reprise et la croissance du framboisier issu multiplication vegetative *in vitro*. Ann. de l' Amelioration des plantes 29: 623-630.
- Mosqueda, V. R. 1969. Efecto del medio de propagación en la germinación y desarrollo de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) Rev. Inst. Colombiano Agró pecuario 17: 101-104.
- Mosqueda, V. R. 1970. Experimento preliminar sobre la respuesta del cultivo de papaya a diferentes niveles de fertilización en un suelo de Veracruz. Tesis Prof. Chapingo, Méx. 78 p.
- Mosse, B. 1968. The establishment of vesicular-arbuscular mycorrhiza under aseptic condiction. J. Gen. Microbiol. 27: 509-520.
- Mosse, B. 1972. Effects of diferent *Endogone* strains on the growth of *Paspalum notatum*. Nature London 239: 221-223.
- Mosse, B. 1973a. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza A. Rev. Phytopatol 11: 171-196.
- Mosse, B. 1973b. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IV. In soil given additional phosphate. New Phytol. 72: 127-136.
- Mosse, B. 1977. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. X. Responses of *Stylosanthes* and maize to inoculation in unsterile soils. New Phytol 78: 277-288.
- Mosse, B. 1981. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Research Bull 194. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human resources. University of Hawaii. p. 5-22.

- Mosse, B. y Phillips, J. M. 1971. The influence of phosphate and other nutrients on the development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in culture. *J. Gen. Microbiol* 69: 157-166.
- Mosse, B. y Hayman, D. S. 1980. Mycorrhiza in agricultural plants. P. 213-230 en: *Tropical mycorrhiza research*. Mikola, P (ed). Oxford University Press.
- Nemec, S. 1981. Histochemical characteristics of *Glomus etunicatum* infection of *Citrus limon* fibrous roots. *Can. J. Bot.* 59: 609-617.
- Nemec, S. 1982. Histology and histochemistry of endomycorrhiza. P 23-26 en: *Methods and principles of mycorrhizal research*. Schenk, N. C. (ed). American Phytopathology Soc.
- Nemec, S. y Bryan, W. C. 1982. Carbohydrate status of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Citrus* roots. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 177-180.
- Nicolson, T. H. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Sci Prog.* Oxford 55: 561-581.
- Nicolson, T. H. y Schenk, N. C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. *Mycol* 71: 178-198.
- Ocampo, J. 1980. Micorrizas V-A. I. Características generales. *Ann. Edaf. Agrobiol* 34: 351-366.
- Ocampo, J. A. y Hayman, D. S. 1980. Effects of pesticides on mycorrhiza in field-grown barley, maize and potatoes. *Trans Br. Mycol. Soc.* 74: 413-416.

- Pearson, V. y Tinker, P. B. H. 1974. Measurement of phosphorus fluxes in the external hyphae of endomycorrhizas. p 277-287 en: Endomycorrhizas. F. E. Sanders, B. Mosse y P.B. H. Tinker (eds). Academic Press. 626 p.
- Peyronel, B. Fassi, B., y Trappe, J. M. 1969. Terminology of mycorrhizae. Mycol. 2: 410-411.
- Pharmaraj, G., Irulappan, I. 1982. Response of avocado seedlings to *Glomus fasciculatum* a mycorrhizal fungus. South Indian Horticulture 30: 139-141.
- Phillips, J. M. y Hayman, D. S. 1970. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- Pirozynsky, K. A. y D. W. Malloch. 1975. Mycorrhizae and productivity the arid and semiarid rangelands. en: Advances in food producing systems for arid, semiarid lands. Academic Press. New York. 581-591.
- Plenchette, C., Furlan, V., y Fortin, J. A. 1981. Growth stimulation of apple trees in unsterilized soil under field conditions with VA mycorrhiza inoculation. Can. J. Bot. 59: 2003-2008.
- Plenchette, C., Furlan, V. y Fortin, J. A. 1982. Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 535-538.
- Pond, E. C., J. A. Menge. y W. M. Jarrell. 1984. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. Mycologia 76: 74-84.
- Powell, C. Ll. 1975. Potasium uptake by endotrophic mycorrhiza. en: Endomycorrhizas. Sanders, Mosse y Tinker (eds). p 461-468. Academic Press London.

- Powell, C. Ll. 1976. Development of mycorrhizal infection from *Endogone* spores and infected root segments. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 66; 439-445.
- Powell, C. Ll. 1979. Spread of mycorrhizal infection through soil. *New Zeland. J. Agric. Res.* 22: 335-339.
- Powell, C. Ll. 1982. Endomycorrhizas. *Agric. Res. Journal. N. Z.* 23: 225-231.
- Rao, E. K. y Shanmugavelu, J. 1971. Physiological responses on plant mycorrhizal of supply of phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* 26: 423-429.
- Ramírez, B. N., Mitchell, D. J. y Scenck, N. C. 1975. Establishment and growth effects of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on papaya. *Mycol.* 67: 1039-1041.
- Read, D. J. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The occurrence of infection. *New Phytol* 76: 641-653.
- Reid, C. P. P. 1974. Factors affecting the distribution and growth of roots of perennial woody species. En: *Proceeding of the fifteenth aester school in agricultural science. University of Nottingham, London.* p. 280-295.
- Reid, C. P. P. y Mexal, C. D. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in natural vegetation ecosystems. *New Phytol.* 77: 641-653.
- Reid, C. P. P. y Bowen, G. D. 1977. Effects of soil moisture on V-A mycorrhizae formation and root interface. J. L. Harley y R. Scott-Rusell (eds). *Academic Press London.* p. 211-219.
- Reyes, R. D. 1983. Manual técnico de producción de papaya. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). 67 p.

- Rhodes, L. H. y Gerdemann, J. W. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and nonmycorrhizal onions. *New Phytol.* 75: 555-561.
- Rhodes, L. H. y Gerdemann, J.W. 1978b. Translocation of calcium and phosphate by external hiphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Sci.* 126: 125-126.
- Rich, C. W. y Bird, A. K. 1974. A computer program for deriving growth in plants mycorrhizal. *J. Appl. Ecol.* 11: 297-298.
- Roncadori, R. W. y Hussey, R. S. 1977. Interaction of the endomycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* and root-knot nematode on cotton. *Phytopathol.* 67: 1507-1511.
- Roviera, A. D. y Davey, C. B. 1974. Biology of the rhizosphere. en: *The plant root and its environment.* University Press. 367 p.
- Safir, G. R., Boyer, J. S. y Gerdemann, J. W. 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science* 172: 581-583.
- Saif, G.R., Boyer, J. S. y Gerdemann, J. W. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiol* 49: 700-703.
- Safir, G. R. y Khan, A. G. 1977. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations on growth of cereals. III Effects on barley growth. *Pl. Soil* 47: 17-26.
- Saif, S. R. 1977. The influence of stage of host development on vesicular mycorrhizas and endogonaceos population in field grown vegetable crops, *New Phytol* 79: 341-348.

- Safir, G. R. 1980. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and crop productivity. en: The Biology of crop productivity (ed. Carlson, S). p 231-249. Academic Press.
- Sánchez, M. J. H. 1986. Aumento de la eficiencia de la roca fosfórica de Baja California mediante el uso de activadores químicos y biológicos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 84 p.
- Sanders, F. E. y Tinker, P. B. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by *Endogone* mycorrhizas. Nature 233: 278.
- Samson, J. A. 1980. Tropical fruits. Longman, London. 297 p.
- Sanni, S. O. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some Nigerian soils: The effect of *Gigaspora gigantea* on the growth of rice. New Phytol 77: 673-674.
- Scannerini, S. y Bonfante-Fasolo. 1979. Ultrastructural cytochemical demonstration of polysaccharides and proteins within the host-arbuscule interfacial matrix in a endomycorrhiza. New Phytol 83: 87-94.
- Schenck, N. C. y Tucker, D. P. H. 1975. Endomycorrhizal fungi and the development of citrus seedlings in Florida fumigated soils. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 99: 284-287.
- Schenck, N. C. y Smith, G.S. 1982. Additional new and un reported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycol. 74: 77-92.
- Schoknecht, J. D. y Hattingh, M. J. 1976. X-ray microanalysis of elements in cell of Va mycorrhizal and nonmycorrhizal onions. Mycol 68: 296-303.

- Sergeeva, R. V. y Zatssepina, V. W. 1973. The occurrence of endotrophic mycorrhiza in strawberries. Referatiunyi Zhurnal 7: 134-138.
- Smith, F.A. 1980. Effect of mycorrhiza V-A fertilizer level and planting distance on soil pH, growth, fruit size, disease incidence, yield, and profit of tropical crops. J. Agriculture Tropical of the University of Calcuta (India) 9: 111-123.
- Smith, F. A. 1981. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on higher plants. Symposia of the Society of Experimental of Microbiol 254: 789-799.
- Spurr, S. H. y Barnes, B. V. 1980. Forestry ecology. 3ed. Wiley, New York. 312 pp.
- Stewart, E. L. y Pflieger, F. L. 1977. Development of poinsettia as influenced by endomycorrhizae, fertilizer and rot pathogens. Florists Rev. 159: 79-81.
- Storey, K. 1979. Growth and yield of papaya in relations to fertilizer applications. Progress Notes No 118. Hawaii Agric. Exp. Sta. Univ. of Hawaii. 12 p.
- Theodorou, C. 1978. Soil moisture and the mycorrhizal of *Pinus radiata*. Soil Biochem. 10: 33-37.
- Tinker, P. B. 1975. The soil (Chemistry of phosphorus and mycorrhizal effects on plant growth). en; Endomycorrhizas (ed. por F. E. Sanders, B. Mosse y P.B. Tinker) p. 253-272. Academic Press.
- Timmer, L. W. y R. F. Leyden, 1978a. Stunting of citrus seedlings in fumigated soils in Texas and its correction by phosphorus fertilization and inoculation with mycorrhizal fungi. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 533-537.

- Timmer, L. W. y R. F. Leyden. 1978b. Relationship of seed-bed fertilization and fumigation to infection of sour orange seedlings by mycorrhizal fungi and *Phytophthora parasitica* J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 538-542.
- Trappe, J. M. 1981. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands. En: Advances in food producing systems for arid and semiarid lands. Academic Press New York. 581-599.
- Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. Phytopathol. 72: 1102-1108.
- Trappe, J. M. 1984. Mycorrhizal reactions to pesticides. Ann. Rev. Phytopathol. 22: 331-359.
- Trappe, J. M., E. A. Stahly., N. R. Benson, y D. A. Duff. 1973. Mycorrhizal deficiency of apple trees in high arsenic soils. HortScience 8: 52-53.
- Trinick, M. J. 1977. Vesicular-arbuscular infection and soil phosphorus utilization in *Lupinus* spp. New phytol 78: 297-304.
- Weijman, A.C. M. y Meuzeldar, H. L. C. 1979. Biochemical contributions to the taxonomic status of the endogonaceae. Can. J. Bot. 57: 284-291.
- White, J. A. y Brown, M. F. 1974. Ultrastructure and Xray analysis of phosphorus granules in a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Can. J. Bot. 57: 2812-2818.
- Vander Zaag, P., R. L. Fox., de la Peña, y E. S. Yost. 1979. P. nutrition of cassava, including mycorrhizal effects on P, K, S, Zn and Ca uptake. Field Crop Research 2: 253-263.

## IX. APENDICE

## APENDICE A

## A-1. FAA

a) .95 ml de ácido acético

13 ml de formol

200 ml de alcohol al 50%

b) .65 ml de formaldehído (37%).

25 ml de ácido acético glacial

1 lt de etanol 50%

## A-2 · AZUL TRIPANO 0.05% (p/v)

Se pesan 0.05 g de azul tripano y se aforan a 100 ml con una solución de lactoglicerol.

## A-3 LACTOGLICEROL

Mezclar 500 ml de ácido láctico con 500 ml de glicerol y 500 ml de agua, agitar durante 10 minutos para realizar una excelente homogenización.

A-4. Análisis físico y químico del suelo de Lomas de San Juan Municipio de Texcoco, México

---

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Textura              | Migajon-Arenosa |
|                      | Arena 65%       |
|                      | Limo 17%        |
|                      | Arcilla 18%     |
| pH                   | 6.7             |
| C.E. mmhos/cm a 25°C | 0.12            |
| Materia orgánica     | 1.20%           |
| Nitrógeno            | 0.05%           |
| Fósforo Bray-1       | 14.0 ppm        |
| Fósforo Olsen        | 4.5 ppm         |
| K Intercambiable     | 0.66            |
| Ca Intercambiable    | 8.44            |
| Mg Intercambiable    | 4.89            |
| Na Intercambiable    | 0.32            |

---

Análisis realizado en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados de Chapingo, Méx.

APENDICE B

B-1 Análisis de varianza del incremento de altura en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 572.41            | 30.12            | 314.4**          |
| Error               | 80                 | 7.66              | 0.09             |                  |
| Total               | 99                 | 580.08            |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-2 Análisis de varianza del incremento de altura en plantas de papaya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos.

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 1398.67           | 73.61            | 178**            |
| Error               | 80                 | 3.29              | 0.04             |                  |
| Total               | 99                 | 1401.96           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-3 Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 83.49             | 4.39             | 483.6**          |
| Error               | 80                 | 0.72              | 0.01             |                  |
| Total               | 99                 | 84.21             |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-4 Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas de papaya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 14.81             | 0.77             | 175.7**          |
| Error               | 80                 | 0.35              | 0.00             |                  |
| Total               | 99                 | 15.16             |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-5 Análisis de varianza del número de hojas de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 68.18             | 3.58             | 117.4**          |
| Error               | 80                 | 2.44              | 0.03             |                  |
| Total               | 99                 | 70.62             |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-6 Análisis de varianza del número de hojas de plantas de papaya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 83.70             | 4.40             | 56.84**          |
| Error               | 80                 | 6.20              | 0.07             |                  |
| Total               | 99                 | 89.90             |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-7 Análisis de varianza del área foliar de plantas de papa ya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicroorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Ca1</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 37358.7           | 1966.2           | 16.6**           |
| Error               | 80                 | 9450.0            | 118.1            |                  |
| Total               | 99                 | 46808.7           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-8 Análisis de varianza del área foliar de plantas de papa ya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomicroorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Ca1</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 170340.9          | 8965.3           | 3.38**           |
| Error               | 80                 | 212035.6          | 2650.4           |                  |
| Total               | 99                 | 382376.5          |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-9 Análisis de varianza del volumen radical en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 2871.00           | 151.10           | 6.46**           |
| Error               | 80                 | 1871.00           | 23.38            |                  |
| Total               | 99                 | 4742.00           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-10 Análisis de varianza del volumen radical en plantas de papaya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomicorrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 2851.4            | 150.07           | 6.12**           |
| Error               | 80                 | 1960.0            | 24.5             |                  |
| Total               | 99                 | 4811.4            |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-11 Análisis de varianza del peso seco de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con 19 cepas de hongos endomi-corrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 79.527            | 4.185            | 30.10**          |
| Error               | 80                 | 11.16             | 0.139            |                  |
| Total               | 99                 | 90.687            |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-12 Análisis de varianza del peso seco de plantas de papaya cultivar solo inoculadas con 19 cepas de hongos endomi-corrízicos

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 19                 | 66.6475           | 3.5077           | 38.98**          |
| Error               | 80                 | 7.2000            | 0.0900           |                  |
| Total               | 99                 | 73.8475           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-13 Análisis de varianza del incremento de altura de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilidad con NPK

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Ca1</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 23                 | 676.1319          | 29.397           | 720.0**          |
| Error               | 76                 | 3.1027            | 0.040            |                  |
| Total               | 99                 | 679.2346          |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-14 Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadas con NPK

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Ca1</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 23                 | 171.331           | 7.44             | 29.31**          |
| Error               | 76                 | 19.318            | 0.25             |                  |
| Total               | 99                 | 190.649           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-15 Análisis de varianza del número de hojas en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 23                 | 171.3313          | 7.44             | 29.31**          |
| Error               | 76                 | 19.3183           | 0.25             |                  |
| Total               | 99                 | 190.6496          |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-16 Análisis de varianza del volumen radical en plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus sp.* Zac-19 y fertilizadas con NPK

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 23                 | 16433.67          | 714.50           | 34.13**          |
| Error               | 76                 | 1591.24           | 20.93            |                  |
| Total               | 99                 | 18024.91          |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%

B-17 Análisis de varianza del peso seco total de plantas de papaya cultivar cera inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y fertilizadas con NPK

| Fuente de variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F <sub>Cal</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Tratamiento         | 23                 | 273.989           | 11.912           | 13.42**          |
| Error               | 76                 | 67.468            | 0.887            |                  |
| Total               | 99                 | 341.457           |                  |                  |

\*\* Significancia al 1%