



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
“ ZARAGOZA ”**

TESIS

**EFFECTO DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES Y LA APLICACIÓN DE
FÓSFORO EN *Vicia faba* (HABA) A NIVEL DE INVERNADERO**

PRESENTA: *Alberto López Aranda*

Como requisito para obtener el título de biólogo

DIRECTOR DE TESIS: *M en C. María de Jesús Sánchez Colín*

México, D.F. 2005



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.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Por haberme apoyado moralmente y por haberme impulsado para lograr esta meta, también por enseñarme a valorar la vida en todo momento; por esto y mil cosas más, les estaré eternamente agradecido; ¡Gracias! Papá Gonzalo: López Sánchez y ¡Gracias! Mamá: Cristina Aranda Hernández.

A mi hermano:

Carnal: Gonzalo López Aranda, te agradezco de manera muy especial por haberme apoyado incondicionalmente en estos últimos años que han sido muy difíciles para nuestra familia, y también por formar parte de mi vida y de mi trabajo. ¡Gracias! Carnal y recuerda que te quiero mucho.

A mi familia:

A mi esposa María de la Cruz González Galindo, a mi primogénito Drexler Julián López González y a mi pequeño travieso Hakeem Alberto López González; primeramente por formar parte de mi vida, en segundo lugar por apoyarme y por estar conmigo en los momentos más difíciles y finalmente por ser el motivo de mi superación y la base de mis logros y éxitos. ¡Gracias! y recuerden que los amo y los amare por la eternidad.

A mis suegros:

Por haberme aceptado dentro de su familia, por verme como a un hijo y por apoyarme en el tiempo que duro este trabajo. Porque los admiro y los respeto. ¡Mil gracias!

A mi director de tesis:

A la M. en C. María de Jesús Sánchez Colín por formar parte de mi formación profesional y por toda la paciencia y apoyo que me brindo en la realización de esta investigación. Desde lo más profundo de mi corazón le digo ¡Muchas gracias maestra Chuy!

A mis sinodales:

A los M. en C. Manuel Faustino Rico Bernal y Rosalva García Sánchez, y a los Biól. Rubén Zulbarán Rosales y Elvia García Santos; por sus sugerencias y comentarios que me sirvieron para enriquecer y finalizar este trabajo de investigación. A todos ellos y de manera muy especial ¡Muchas Gracias!

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de cuadros -----	VI
Índice de figuras -----	VII
Índice de gráficas -----	VIII
Resumen -----	X
1.- Introducción-----	1
2.- Justificación-----	2
3.- Marco teórico-----	4
3.1.- Micorrizas arbusculares-----	4
3.2.- Beneficios del uso de las micorrizas-----	10
3.3.- La fertilización y el fósforo-----	11
3.4.- Haba-----	15
3.4.1.- Clasificación taxonómica-----	15
3.4.2.- Características morfológicas -----	15
3.4.2.1.- Raíces-----	15
3.4.2.2.- Tallo principal y ramas-----	16
3.4.2.3.- Hojas -----	16
3.4.2.4.- Nudos vegetativos y reproductivos --	17
3.4.2.5.- Flores, inflorescencias y floración ----	17
3.4.2.6.- Vainas y etapa de llenado de granos-	18

3.4.2.7.- Semillas -----	18
3.4.3.- Situación económica del haba-----	21
4.- Hipótesis-----	25
5.- Objetivos-----	25
5.1.- Objetivo general-----	25
5.2.- Objetivos particulares-----	26
6.- Metodología-----	27
6.1.- Fase de campo-----	27
6.2.- Fase de laboratorio-----	27
6.2.1.- Producción del inóculo de MA-----	29
6.2.2.- Evaluación de la colonización MA-----	30
6.2.3.- Solución nutritiva Long Ashton-----	32
6.3.- Fase de invernadero-----	34
6.3.1.- Siembra-----	34
6.3.2.- Diseño experimental-----	34
6.3.3.- Preparación del experimento-----	35
6.3.4.- Cosecha-----	36
6.4.- Fase de gabinete-----	36
6.4.1.- Análisis estadístico-----	37
7.- Resultados y discusión-----	38
7.1.- Resultados del análisis de suelo-----	38

7.2.- Resultados de las pruebas agronómicas-----	44
7.2.1.- Altura-----	44
7.2.2.- Número de hojas-----	46
7.2.3.- Número de flores-----	48
7.2.4.- Número de tallos-----	50
7.2.5.- Diámetro de tallo -----	51
7.2.6.- Peso foliar fresco-----	53
7.2.7.- Peso foliar seco -----	54
7.2.8.- Longitud de raíz-----	56
7.2.9.- Peso de raíz-----	57
7.2.10.- Volumen de raíz -----	59
7.2.11.- Colonización MA -----	60
7.3.- Resultados de nitrógeno en plantas-----	62
7.4.- Resultados de fósforo en plantas-----	62
8.- Conclusiones-----	63
9.- Recomendaciones-----	65
10.- Bibliografía-----	66
11.- Apéndice -----	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Propiedades físicas, químicas y biológicas que se determinaron en el suelo agrícola.	28
2	Determinaciones que se realizaron a la planta de haba.	29
3	Fórmulas para evaluar la colonización micorrízica arbuscular.	32
4	Preparación de la solución nutritiva Long Ashton.	33
5	Concentración de fósforo que se utilizó en los diferentes tratamientos.	33
6	Tratamientos en el ensayo de invernadero.	36
7	Propiedades físicas y químicas del suelo.	38
8	Número de esporas en diferentes suelos (Werner, 1992).	43
9	Nitrógeno total y fósforo en plántulas de haba.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Principales tipos de micorrizas.	5
2	Principales estructuras de las micorrizas arbusculares.	6
3	Planta de haba.	19
4	Posición axilar de las flores en la planta.	20
5	Flor de haba.	20
6	Vainas y semillas.	21
7	Escala del pH del suelo.	40

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Título	Página
1	Altura foliar de las plantas de haba desde los 15 hasta los 90 días de desarrollo.	44
2	Altura foliar de las plantas de haba a los 90 días de desarrollo.	44
3	Número de hojas (pinas) en plantas de haba de los 15 a los 90 días de desarrollo.	46
4	Número de hojas (pinas) en plantas de haba a los 90 días de desarrollo.	46
5	Número de flores presentes en las plantas de haba a los 75 y 90 días.	47
6	Número de flores presentes en plantas de haba a los 90 días de desarrollo.	48
7	Número de tallos en las plantas de haba de los 15 a los 90 días de desarrollo.	49
8	Numero de tallos a los 90 días de desarrollo.	50
9	Diámetro del tallo de las plantas de haba de los 15 a los 90 días de desarrollo.	51
10	Diámetro de tallo a los 90 días de desarrollo.	51
11	Peso foliar fresco de plantas de haba a los 45 y 90 días.	53
12	Peso foliar fresco a los 90 días de desarrollo.	53
13	Peso foliar seco de plantas de haba a los 45 y 90 días de desarrollo.	54
14	Peso foliar seco a los 90 días de desarrollo.	54
15	Longitud de las raíces de las plantas de haba a los 45 y 90 días de desarrollo.	55
16	Longitud de las raíces a los 90 días de desarrollo.	56
17	Peso de raíz de plantas de haba a los 45 y 90 días de desarrollo.	57

18	Peso de raíz a los 90 días de desarrollo.	57
19	Volumen de raíz de plantas de haba los 45 y 90 días de desarrollo.	58
20	Volumen de raíz a los 90 días de desarrollo.	59
21	Porcentaje de la colonización micorrízica en raíces de haba.	60
22	Contenido de nitrógeno total en plantas de haba.	63
23	Contenido de fósforo foliar en plantas de haba.	64

RESUMEN

La importancia ecológica y económica de las micorrizas arbusculares esta avalada por su presencia en más del 80% de las especies vegetales existentes. Una de las aportaciones más importantes de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), es la absorción de fósforo desde el suelo; ya que este es fundamental en los procesos del desarrollo de las plantas y transformación energética. El efecto de la inoculación en haba con HMA y diferentes dosis de fósforo, fueron evaluados en esta investigación, a través de la medición de algunos parámetros cuantitativos que se mencionan a continuación. Se preparó un inóculo de HMA de un suelo agrícola (del estado de Tlaxcala), el cual se utilizó en el momento de sembrar. Se diseñó un modelo experimental de 8 tratamientos con 9 repeticiones cada uno. Los tratamientos consistieron en: tratamiento 1 (testigo absoluto), tratamiento 2 (con una concentración de 11 mg L^{-1} de fósforo), tratamiento 3 (con una concentración de 28 mg L^{-1} de fósforo), tratamiento 4 (con una concentración de 44 mg L^{-1} de fósforo), tratamiento 5 (inoculado con HMA), tratamiento 6 (con micorrizas y una concentración de 11 mg L^{-1} de fósforo), tratamiento 7 (con micorrizas y una concentración de 28 mg L^{-1} de fósforo) y tratamiento 8 (con micorrizas y una concentración de 44 mg L^{-1} de fósforo). A las plantas obtenidas se les midió cada 15 días y durante tres meses los siguientes parámetros: altura foliar, diámetro de tallo, número de pinas, número de flores, volumen de raíz, peso de raíz, peso foliar seco, peso foliar fresco, y colonización micorrízica total. La aplicación de fósforo presentó un mejor resultado en plantas inoculadas sobre el desarrollo radical. En cuanto a los parámetros: altura, No. de hojas y diámetro de tallo no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. En las plantas no inoculadas el mayor crecimiento de la raíz se presentó en la dosis de 11 mg L^{-1} de fósforo; mientras que en las plantas inoculadas se presentó en la combinación con la dosis de 28 mg L^{-1} de fósforo. En cuanto a número de flores los tratamientos inoculados son los que las presentan. Los tratamientos inoculados presentaron un alto porcentaje en colonización total, sin embargo, la dosis de 44 mg L^{-1} de fósforo inhibe ligeramente la presencia de los hongos micorrízicos arbusculares. En el suelo utilizado para preparar el inóculo se identificaron dos morfoespecies del género **Glomus** y una baja cantidad de esporas. La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares indujo incrementos significativos en: peso de raíz, longitud de raíz y volumen de raíz sólo en los tratamientos micorrizados. La sola inoculación de las plantas presentaron un mejor resultado que las plantas no inoculadas y fertilizadas, por lo que es mejor inocular el haba en lugar de fertilizarla. La presencia de los hongos micorrízicos arbusculares en haba proporciona al haba precocidad en su ciclo de vida. El haba es un buen hospedero para los hongos micorrízicos arbusculares.

INTRODUCCIÓN.

En México, el cultivo del haba *Vicia faba* L. es de gran importancia social y económica en la región de los valles altos de la meseta central, que comprende los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Michoacán y parte de Veracruz. En el Estado de México se cultiva en casi toda su extensión, destacando por su superficie el valle de Toluca, en donde se siembran aproximadamente 3,500 ha, las cuales se establecen con humedad residual y en temporal, con rendimientos promedio de 1.1 t ha⁻¹ de grano seco y 6.5 t ha⁻¹ para vaina verde.

A pesar de la importancia social y económica que genera este cultivo, la superficie sembrada fluctúa cada año, debido a los bajos rendimientos, a la falta de variedades mejoradas, nula e inadecuada fertilización, fechas tardías de siembra, además de la presencia de plagas y enfermedades que atacan severamente. En muchas ocasiones se utilizan materiales criollos de la región, que generalmente son los más susceptibles a los agentes bióticos, presentando ciclos vegetativos más largos, sensibilidad al acame y por sus características de tamaño y color de grano sólo tienen aceptación en la comunidad local (Muciño, 1995).

En condiciones naturales la mayoría de las plantas adaptadas a diversos nichos ecológicos se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, como las micorrizas, estableciendo relaciones benéficas (simbióticas). Esta estrategia de la evolución ha sido muy exitosa y a pesar de que su conocimiento se reporta desde hace más de un siglo, solo durante las últimas décadas el hombre a

empezado a utilizarla en la producción hortícola y frutícola donde existen evidencias de su potencial y éxito para el desarrollo competitivo y sostenible de estas especies (<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>).

Las micorrizas se presentan en las raíces de las plantas y juegan un papel importante en el almacenamiento de nutrimentos del ecosistema y en la protección de las plantas contra el estrés cultural y ambiental, que han demostrado efectos positivos en la absorción de nutrimentos, dentro de los cuales el más estudiado a nivel mundial ha sido el fósforo.

El fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas y es absorbido casi enteramente en forma inorgánica. No existe otro nutrimento que pueda sustituirlo y es uno de los tres nutrimentos principales (nitrógeno, fósforo y potasio).

Se ha observado que en las zonas agrícolas donde se cultiva haba, en particular en Santa Justina Ecatepec, Edo. de Tlaxcala las plantas de dicho cultivo presentan características como: plantas pequeñas, con tallos delgados, los cuales no son muy resistentes al impacto del viento, ya que este las tira y una vez en el suelo ya no producen nada; junto con esto se observa que existen problemas en el desarrollo de las flores, debido a que aparecen pocas flores o hay plantas sin ellas; esto es importante para los agricultores porque de estas estructuras se forman los frutos y las semillas. El INEGI, (1999), reporta un rendimiento de 2.5 t ha⁻¹ lo que concuerda con lo que comentan los agricultores de esta comunidad (2.0 y 2.3 t ha⁻¹), pero en los últimos cinco años las cosechas

han disminuido 1.6 y 1.8 t ha⁻¹. Por lo que surge la inquietud entre los agricultores, para que se den algunas alternativas que permitan mejorar las características morfológicas del haba y que influyan en un mejor rendimiento, ya que en la zona no se fertiliza con fósforo. Por ello se propone en este proyecto la inoculación del haba con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la aplicación de fósforo en dosis baja (11 mg L⁻¹), media (28 mg L⁻¹) y alta (44 mg L⁻¹); porque se sabe que las MA ayudan a las plantas a mejorar la absorción de nutrimentos, en específico el fósforo del suelo, ya que este es importante en los procesos energéticos de la planta y en la formación de frutos y semillas, además le confiere a la planta en su raíz un área de exploración y absorción mayor en la búsqueda de nutrimentos como el fósforo, nitrógeno y calcio entre otros, propiciando el desarrollo de plantas más vigorosas y resistentes.

MARCO TEÓRICO

MICORRIZAS ARBUSCULARES

Nombre que hace referencia a la simbiosis hongo-raíz ("myces-rhiza"). Esta simbiosis es un fenómeno general en los vegetales. Las micorrizas fueron descubiertas por el botánico alemán Frank en 1885, en las raíces de algunos árboles forestales; después en 1900 el francés Bernard puso de manifiesto su importancia estudiando las orquídeas. Las micorrizas eran consideradas excepciones, pero ahora se sabe que casi la totalidad de las plantas verdes, con algunas excepciones, viven en simbiosis con hongos. Y esto es así para musgos, helechos y fanerógamas. Las primeras que despertaron interés fueron las micorrizas de los árboles forestales, y aunque las de las plantas cultivadas comenzaron a estudiarse en 1910, después de los trabajos de Mosse en Inglaterra, en 1955, cuando se empieza a reconocer la importancia y la generalidad de esta simbiosis, (ver figura1).

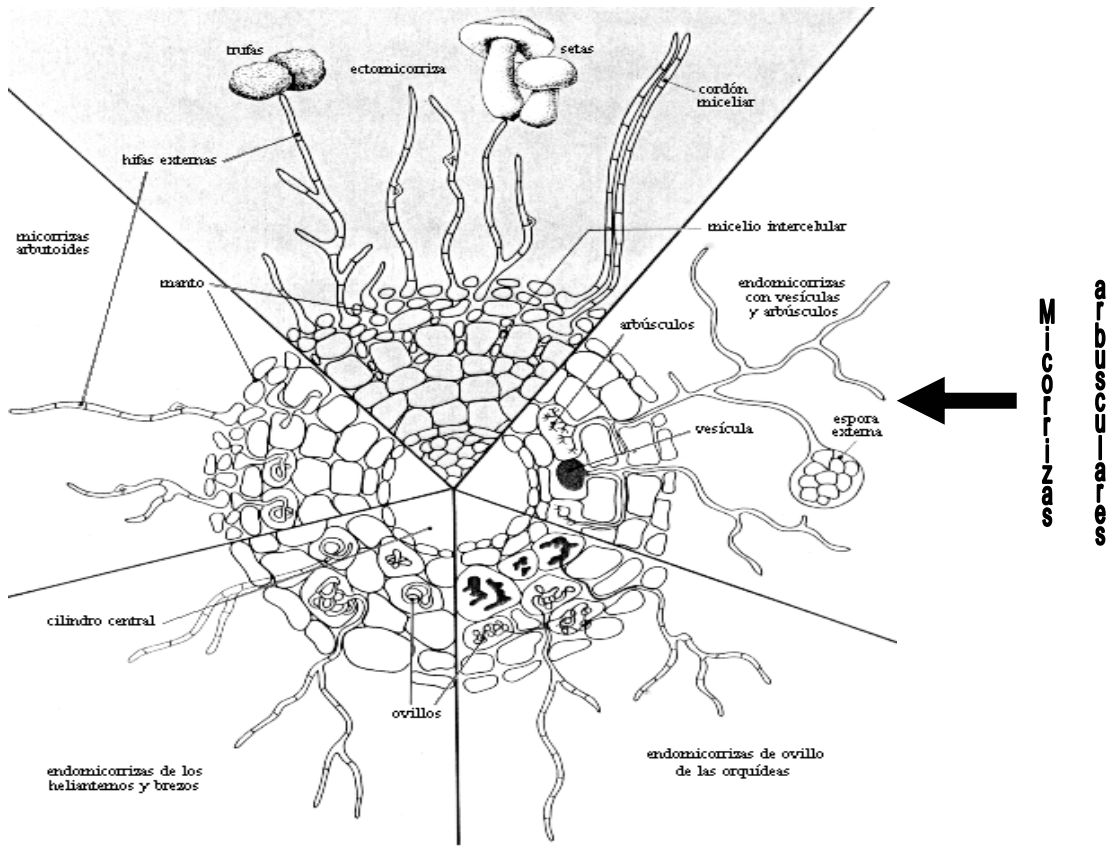
Los hongos que forman las micorrizas arbusculares pertenecen al nuevo Phylum **Glomeromycota**. Los géneros fueron agrupados como sigue: **Glomus Grupo A** y **Grupo B** (familia **Glomeraceae**, orden **glomerales**), solamente las especies de **Glomus spurcum**, **etunicatum** y **versiforme** se sitúan en la familia **Diversisporaceae** del orden **Diversisporales**; el género **Acaulospora** (familia **Acaulosporaceae**) en el orden de **Diversisporales** incluyéndose, en este mismo orden, a **Entrophospora colombiana** y **Entrophospora contigua**; finalmente, las especies del género **Gigaspora** (familia **Gigasporaceae**), y las

especies del género ***Scutellospora*** se ubican también en el orden **Diversisporales** (Martínez, 2004).

Las micorrizas son asociaciones entre la mayoría de las plantas existentes, con hongos benéficos, que permiten incrementar el volumen de las raíces y por tanto permiten una mayor exploración de la rizósfera y son consideradas como los componentes más activos de los órganos de absorción de los nutrimentos de la planta, la que a su vez provee al hongo simbiote de nutrimentos orgánicos y de un nicho protector (Morton y Bentivenga, 1994).

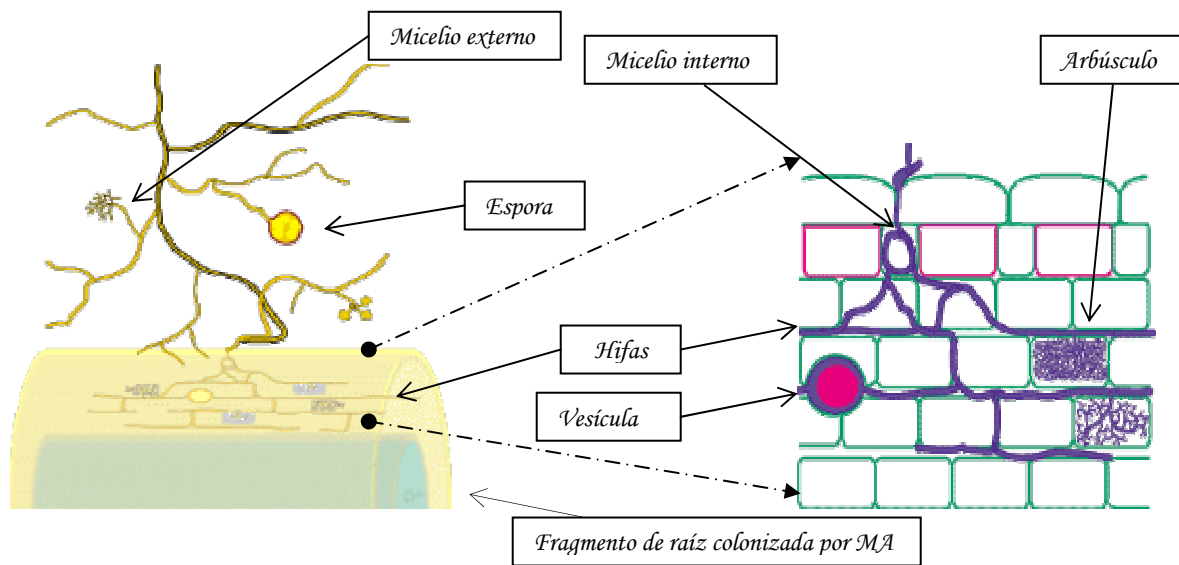
La colonización del hongo a la raíz de la planta puede ser originada por el micelio precedido por la germinación de esporas de resistencia que permanecen en el suelo. Las clamidiosporas que resisten condiciones adversas en el suelo, germinan frecuentemente emitiendo un tubo germinal, tubo que muere a no ser que encuentre y penetre con éxito en una raíz. La presencia de un sistema micelial, integrado por dos fases, un micelio externo el cual coloniza el suelo, cuya extensión puede ser considerable, sin embargo esta característica varía, y un micelio interno (ver figura 2), que se ubica dentro de la corteza de las raíces micorrizadas (<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>).

Figura 1.- Principales tipos de micorrizas.



Fuente: <http://www.ffp.csiro.au/research/micorrhiza/>

Figura 2.- Principales estructuras de las micorrizas arbusculares.



La presencia de micelio externo constituye uno de los principales pilares de la asociación, ya que estas hifas se desarrollan más allá del suelo que circunda la raíz, trascienden la rizósfera y transportan nutrimentos directamente a la planta. Se presentan dos tipos de hifas extramatriciales: las hifas de avance “runer” en el suelo y las hifas absorbentes. Las primeras son de paredes gruesas, grandes, con proyecciones angulares muy definidas, las cuales siguen la trayectoria de las raíces en el suelo, o en algunos casos, simplemente crecen a través del suelo en busca de ellas; estas aunque absorben nutrimentos su función primordial aparentemente es de soporte y base permanente de la red micelial. Las hifas que penetran las raíces se inician a partir de estas hifas de avance. Las hifas absorbentes de paredes más finas, se desarrollan a partir de las de avance y se dividen dicotómicamente extendiéndose en el suelo; son los componentes del hongo que absorben los nutrimentos para transportarlos al hospedero su escaso diámetro les permite explorar los poros más finos del suelo, especialmente cuando estos tienen altos contenidos de arcillas y materia orgánica. No se conoce aun la distancia a la cual puede extenderse. Dada la alta relación área / volumen que genera su presencia, el micelio de la micorriza arbuscular permite que la planta pueda explorar intensamente un gran volumen de suelo (Harley y Smith, 1983).

A partir del micelio externo del hongo se pueden formar células auxiliares aisladas o agrupadas, cuya función no se ha determinado totalmente y grandes esporas de resistencia de paredes gruesas, las cuales pueden sobrevivir por años y cuya germinación inicia un nuevo ciclo de la simbiosis. El desarrollo de micelio interno se inicia cuando una

clamidospora entra en contacto con la raíz, formando un apresorió, que penetra la epidermis desarrollando hifas que crecen intra e intercelularmente. Forman enrollamientos al interior de algunas células del hospedero, extendiendo la infección longitudinalmente en la raíz, penetran a las células más internas de la corteza. En este lugar, a partir de hifas intercelulares, se forman ramificaciones laterales que trascienden las paredes de las células del hospedero cuyo plasmalema se invagina y rodea totalmente la estructura fungosa, dando lugar a una estructura tridimensional arborescente que se ha denominado arbúsculo. En la zona de contacto hospedero- arbúsculo se forma una matriz interfacial, en donde se ha comprobado que ocurre la mayor transferencia de nutrimentos entre los asociados.

La tinción de raíces y su observación al microscopio; es el único método para la determinación de la presencia de ciertas estructuras del hongo: vesículas, hifas, arbúsculos y su relación dentro de la raíz, además de visualizar la presencia de hongos patógenos. Este procedimiento ha permitido el avance en las investigaciones micorrízicas.

Algunos géneros de micorrizas arbusculares producen vesículas, las cuales consisten en ensanchamientos de hifas, que se disponen intercelularmente o intracelularmente, ocupando posiciones terminales o intermedias en las hifas. Las vesículas se desarrollan posterior a los arbúsculos, en las regiones más antiguas de la infección y contienen material lipídico por lo cual se las ha aceptado como organelos de almacenamiento de algunos de los hongos micorrizógenos arbusculares (Gerdeman y Trappe, 1975).

La asociación simbiótica beneficia la planta con un incremento en la altura, vigor, área foliar, y mejora el estado nutricional en la parte aérea. En la raíz ocurren cambios anatómicos y citológicos. La asociación ocasiona cambios en la organización celular del meristemo apical y cilíndrico vascular de las raíces, en ellas se detiene la actividad meristemática, haciendo decrecer el índice mitótico medio y la síntesis de ADN y ARN formándose un tejido parenquimatoso en los ápices radicales (<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>).

Entre los microorganismos cuyas acciones juegan un importante papel en el crecimiento y nutrición vegetal los hay de naturaleza saprofítica o simbiótica. En ambos grupos existen especies a las que se les ha atribuido actividades como el control biológico de patógenos, favorecimiento del enraizamiento vegetal, transformación química de formas no asimilables y biorremediación entre otras. En el ámbito mundial, se reportan múltiples experiencias a cerca de los beneficios de las micorrizas arbusculares (MA) sobre especies forestales, agrícolas y frutales. Donde frecuentemente se compara el crecimiento de las plantas micorrizadas con no micorrizadas, estas diferencias son atribuibles a una mayor absorción de nutrimentos, mayores niveles en la producción de hormonas y mayores contenidos de clorofila. Como resultado de estas investigaciones se formó un banco de germoplasma y algunas recomendaciones relacionadas con su biodiversidad potencial de uso en la agricultura (<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>).

Las micorrizas pueden ser utilizadas en la agricultura en forma de biofertilizantes tanto, en vivero o durante el enraizamiento de

vitroplantas, constituyéndose así en una alternativa valiosa para solucionar problemas de micropropagación, aclimatación y nutrición de diferentes especies de importancia en la agricultura y reduciendo al mismo tiempo los costos de producción, permitiendo de esta forma establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que aumenten la sostenibilidad de los cultivos (Trappe, 1987; Azcón, 2000).

BENEFICIOS DEL USO DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES

Es ampliamente conocida la multitud de ventajas que tiene una planta micorrizada con respecto a una que no lo esté. Entre esas ventajas, se encuentran:

- a) contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo por absorción, translocación y transferencia; en la nutrición nitrogenada de la planta, y en la adquisición de otros nutrimentos como zinc y cobre, se considera que probablemente podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre.
- b) Control biológico para algunos patógenos provenientes del suelo e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.
- c) Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa.
- d) Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y salinidad.
- e) Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera
- f) Producción de hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal

- g) Incremento en la relación parte aérea / raíz de la planta micorrizada
- h) Aportes en la recuperación de suelos por ser formadores de agregados del suelo
- i) Uso potencial en suelos degradados o áridos en programas de reforestación
- j) Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de la rizósfera.

La simbiosis de micorriza arbuscular debe ser considerada como un elemento esencial para promover sanidad y productividad en los cultivos de importancia económica, beneficios máximos serán obtenidos si se inocula con hongos micorrizógenos eficientes y si se hace una selección de combinaciones compatibles de hongo – planta – suelo. En general cuanto más temprano se establezca mayor el beneficio (Azcón, 2000).

LA FERTILIZACIÓN Y EL FÓSFORO

El desarrollo óptimo de los cultivos demanda el aporte de fertilizantes minerales (N y P) y pesticidas. El fósforo es importante para las plantas ya que intervienen en los procesos energéticos y de formación de frutos y semillas, ya que se relaciona directamente con el transporte de energía como una parte integral de la estructura de la genética de todas las células y participa en otras funciones fisiológicas. El fósforo se encuentra en el suelo tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Dependiendo el tipo de suelo, se puede decir que entre 60-50 % corresponden a la fracción orgánica, mientras que el resto se encuentra en forma

inorgánica. Las formas orgánicas se hallan en el humus del suelo en diferentes niveles de estabilización. Sin embargo, el uso de estos productos es costoso y produce contaminación ambiental en suelo y agua (Azcón, 2000).

El propósito de la aplicación de los fertilizantes fosfatados es incrementar la cantidad de P disponible en el suelo, para satisfacer la demanda de este elemento por los cultivos. La eficiencia de esta práctica se ve limitada por la intensidad de las reacciones químicas que ocurren entre el suelo y el fosfato. Tanto el P en solución como el absorbido aumentan en relación a la cantidad de fosfato aplicada al suelo (Bohn *et al.*, 1985).

No existe otro nutrimento que pueda sustituirlo. Es uno de los tres nutrimentos principales (N, P, K). Aunque de los nutrimentos primarios es el requerido en menor cantidad; la disponibilidad de este en la mayor parte de los suelos agrícolas es limitada (Quintero, 2003). El fósforo es constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos y vitaminas; es indispensable en procesos donde hay transporte, almacenamiento y transformación de energía; actúa también en la fotosíntesis, respiración, división y elongación celular. Otras de sus funciones son las de estimular la formación temprana y el crecimiento de las raíces, intervenir en la formación de los órganos de reproducción de las plantas; es vital en la formación de semillas, aceleran la maduración de los frutos en los cuales generalmente se almacena en altas concentraciones.

El fósforo (P) juega un papel fundamental en la nutrición de las plantas, ya que se relaciona directamente con el transporte de energía como una parte integral de la estructura de la genética de todas las células y participa en otras funciones fisiológicas. En consecuencia se esperaría que los niveles de fósforo suministrados tuvieran un efecto considerable en la partición de la materia seca y en el transporte de nitrógeno (N). Los efectos del N que se aplica como fertilizante, no se observan únicamente en el rendimiento de los cultivos, concentración y asimilación del N, sino también en la concentración y asimilación del P y algunos cationes. Colé *et al.*, (1983) encontraron que plántulas de maíz pretratadas con N incrementaban sus tasas de desarrollo y las de asimilación de P por peso unitario de raíces, así como la translocación de P a los órganos superiores en una proporción de 5 a 10 veces. El incremento en la concentración y asimilación de P en las plantas, positivamente provoca la aplicación de N, que ha sido atribuido según Miller (1974) a un mayor desarrollo de las raíces en el volumen fertilizado, efectos fisiológicos del N en la planta, alteración del pH del suelo en la interfase suelo-raíz debido a un exceso en la absorción de cationes sobre aniones y la consecuente liberación de iones H^+ .

El primer síntoma por falta de fósforo es el de una planta atrofiada, las hojas pueden deformarse con deficiencias severas, se pueden producir áreas necróticas en las hojas, frutos y tallos, los síntomas generales son: germinación y crecimientos lentos, el crecimiento de la parte aérea y de las raíces se reduce. Tallos cortos y delgados, pérdida del color verde del follaje, y desarrollo de una coloración verde azulosa, color púrpura en el follaje al margen, posteriormente estos pueden secarse y morir, las

hojas son pequeñas, la defoliación prematura comienza por las más viejas. Las deficiencias de fósforo traen como consecuencia una baja producción del cultivo (Marschner, 1986).

El origen tanto orgánico como mineral del fósforo en el suelo, supone que los procesos responsables del suministro a la planta sea de naturaleza química o biológica. Esto supone que en la cuantificación de la disponibilidad de fósforo en el suelo para la planta sea particularmente difícil. El predominio de una y otra forma en la solución del suelo depende del pH; bajo condiciones ácidas predomina H_2PO_4^- y en condiciones alcalinas $\text{HPO}_4^{=}$ existiendo un equilibrio entre las dos formas cuando el pH está cercano a la neutralidad. Ambas formas son igualmente disponibles a las plantas pero su concentración en el suelo es muy pequeña (Quintero, 2003).

HABA.

Clasificación taxonómica.

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

Reino: Plantae

Subreino: Embryobionta

División: Magnoliophyta (= angiosperma, = anthophyta)

Clase: Magnoliópsida (dicotiledónea)

Orden: Fabales

Familia: Leguminoseae (Fabaceae)

Género: Vicia

Especie: Vicia faba L.

Características morfológicas.

Raíces: La radícula, desde que inicia su crecimiento, es muy vigorosa, y prontamente luego de ocurrida la emergencia de la plántula emite una gran cantidad de raíces secundarias. La radícula se va transformando gradualmente en una raíz pivotante, la cual logra profundizar en el suelo en forma relativamente rápida. El sistema radical es en definitiva bastante vigoroso, generándole largas raíces laterales a partir de la raíz pivotante; esta puede alcanzar hasta 1 m de profundidad, pero lo normal es que su crecimiento se produzca en los primeros 50 y 60 cm del suelo (ver figura 3).

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

Las ramas basales, alcanzan un crecimiento que en muchos casos se asemeja al del caso del principal; las ramas basales aportan, entre el 50 y el 70% de las vainas producidas por una planta (ver figura 3).

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

Las hojas son alternas, presentan en su base un par de estipulas de escaso tamaño, generalmente dentadas y están compuestas por dos a seis folíolos ovales. Los folíolos, son a su vez, generalmente alternos, sésiles de color verde grisáceo y miden entre cinco y seis cm de largo (ver figura 3).

Durante la etapa de llenado de granos se inicia el proceso de la senescencia en las hojas basales. A partir de ese estado la senescencia de hojas continúa ocurriendo gradualmente en forma ascendente; esta situación debe atribuirse principalmente al sombreado que van

sufriendo las hojas y en segundo término a una declinación en la actividad en las raíces, a incrementos en la temperatura y a la presencia de *Botrytis fabae*.

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

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

Las flores se encuentran dispuestas en inflorescencias que corresponden a cortos racimos axilares (ver figura 4). En una planta el número de flores por racimo varía entre dos y seis, alcanzándose un promedio que varía entre tres y cuatro.

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

Vainas: Las vainas o legumbres corresponden a frutos, los cuales están compuestos por dos valvas provenientes del ovario. Las vainas, que son rectas y carnosas en sus estados iniciales, presentan un interior esponjoso, felpudo y de color blanco; la parte interna de las vainas corresponde al mesocarpio y endocarpio. La longitud de las vainas de la variedad major alcanza valores iguales o inferiores de 15 cm y el ancho de las vainas varía entre 2.0 y 2.5 cm (ver figura 3 y 6).

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

Semilla: La semilla está compuesta por la testa, los cotiledones y el eje embrionario; en el punto en que la semilla se conecta a la vaina a través del funículo existe una cicatriz que corresponde al hilio (ver figura 6). Prácticamente junto a uno de los extremos del hilio se presenta el micrópilo, que corresponde a una abertura natural microscópica, a través de la cual ingresa agua a la semilla. (<http://www.puc.cl/sw-educ/cultivos/legumino/haba.htm>).



Figura 3.-Planta de haba: (tl) tallo principal; (t2) tallo secundario; (va) vaina; (ho)hojas compuestas; (ra) raíces.

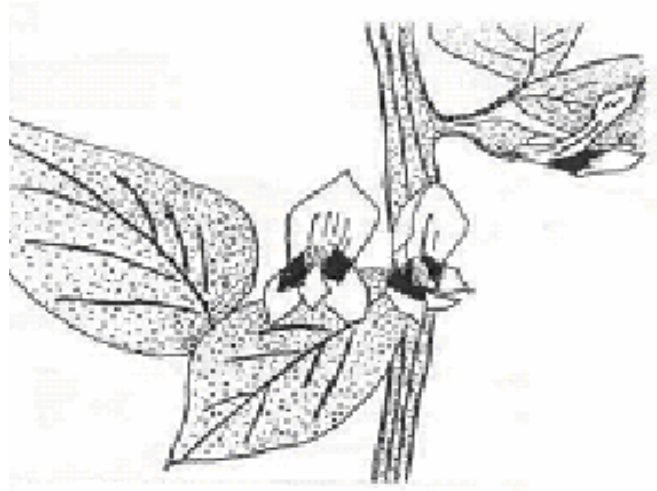


Figura 4.- Posición axilar de las flores en la planta.

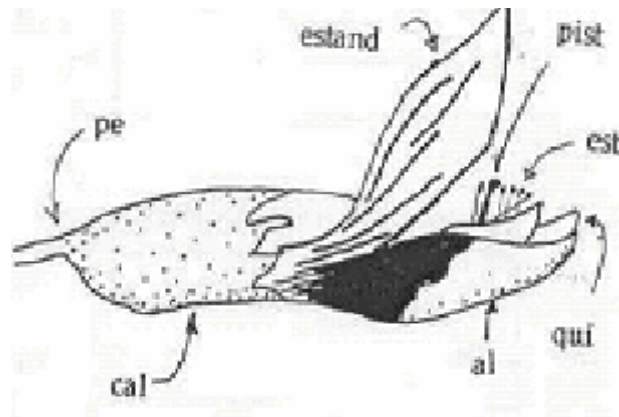


Figura 5.- Flor de haba: (pe) pedicelo; (cal) cáliz; (estand) estandarte; (pist) pistilo; (est) estambre; (qui) quilla; (al) alas.

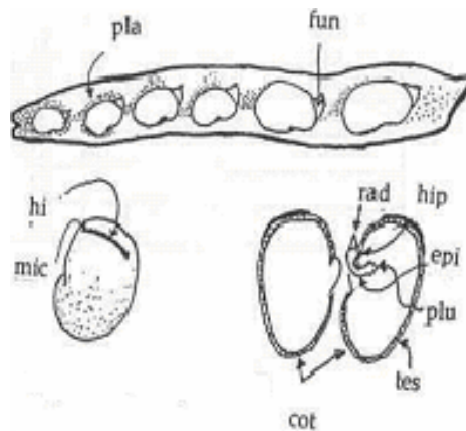


Figura 6.- Vainas y semillas: (tes) testa, (cot) cotiledones; (fun) funículo; (hi) hilio; (mic) micrópilo; (rad) radícula; (hip) hipocotilo; (epi) epicotilo; (pla) placenta; (plu) plúmula.

SITUACIÓN ECONÓMICA DEL HABA

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

Esta especie es anual y tolerante al frío, de hecho, requiere de una estación fría para un mejor desarrollo. Se ha cultivado en zonas subtropicales y templadas como especie anual en invierno; en Europa pueden soportar temperaturas de 10 ° C y es muy tolerante a suelos

ácidos, sin necesidad de un encalado (Harrison, *et al* 1980). Al ser una especie C₃, es menos eficiente que las plantas tropicales (plantas C₄) en cuanto al uso del agua y CO₂ ya que la eficiencia relativa de uso de agua es de más de 600 g de agua transpirada por gramo de biomasa producida. Así mismo son también menos eficientes en el uso de nutrimentos que las plantas C₄, pues estas últimas producen más biomasa seca por unidad de nutrimento absorbido (Marschner, 1986). En México se siembra anualmente con haba 125 000 ha, principalmente en los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, y partes de Michoacán, Veracruz, Guanajuato, y D.F. El 90% de las siembras se realizan bajo condiciones de temporal (Langer y Hill, 1991; Tornero, *et al.*, 1993; www.hort.perdue.edu. 2003).

La mayoría de las evaluaciones que se han realizado al cultivo del haba han mostrado resultados contrastantes en el comportamiento de las variedades mejoradas, debido principalmente a la naturaleza genética de estos cultivares (los cuales interaccionan fuertemente con el ambiente) y al deficiente manejo agronómico (nula o escasa fertilización) del agricultor; sin embargo, los materiales mejorados aún son la mejor opción para lograr altos rendimientos en el cultivo de esta especie. Por otro lado, la mayoría de los suelos de valles altos son de baja y mediana productividad a causa de la deficiencia de nitrógeno y fósforo; en contraste con lo anterior, tales suelos son ricos en potasio asimilable para las plantas. El fósforo puede fijarse al suelo con tal tenacidad que apenas pueda ser absorbido por las plantas, es posible que no aprovechen más de 10% de la fertilización fosforada que se aplica al voleo para incorporarse al suelo, pero en cambio, cerca de 30% será

aprovechado por una leguminosa si se aplica de forma localizada o en hilera; los suelos muy ácidos tienden por lo general a fijar más fósforo que los suelos ligeramente alcalinos (Montes, 1997).

Con relación a la fertilización, este cultivo, como todas las leguminosas, requiere de cantidades mínimas de nitrógeno para su producción, sin embargo, para obtener una buena cosecha se recomienda aplicar 60 kg. ha⁻¹ de fósforo. En ese sentido, el fósforo, entre otros efectos, estimula el desarrollo radicular inicial, origina un crecimiento rápido y vigoroso, estimula la floración y ayuda a la formación de semilla (Rojas, 2003). A partir de lo anterior, es prioritario generar recomendaciones adecuadas para las distintas zonas de producción de haba, los cuales deben incluir fundamentalmente la utilización de biofertilizantes como las micorrizas arbusculares y la aplicación moderada de fósforo.

Rosales y colaboradores (2001), durante el ciclo primavera-verano de 2000 realizaron la investigación en condiciones de campo, y utilizaron un diseño de bloques completos al azar con 30 tratamientos y tres repeticiones con un arreglo factorial, esto en cinco genotipos de haba. Los caracteres que fueron evaluados son: altura a la primera vaina, altura final, número de tallos, número de granos por vaina, número de vainas por planta, peso de 100 semillas y rendimiento de grano. El análisis de varianza reveló efectos significativos para los genotipos en las variables peso de 100 semillas, rendimiento de grano y altura a la primera vaina. En cuanto al fósforo, la altura final y rendimiento de grano presentaron valores significativos al 0.05%.

Moreno y Cubero (1983) señalan que la aplicación de 50 a 100 kg.ha⁻¹ de P₂ O₅ y 80 a 200 kg. ha⁻¹ de K₂ O, excluyendo el nitrógeno, obtuvieron un rendimiento de 3.5 t. ha⁻¹ de grano de haba en condiciones de riego y de 0.8 a 1.5 t ha⁻¹ en condiciones de temporal. Muciño (1995) indica que la producción de haba se ha incrementado en el Estado de México con la aplicación de 70 kg ha⁻¹ de P₂ O₅ . Por otra parte, la mayor producción de grano depende en una alta proporción de sus componentes de rendimiento (morfológicos y fisiológicos), de su máxima autofertilidad, y de la mayor resistencia a plagas y enfermedades (Solórzano, 1993).

HIPÓTESIS

La mayoría de plantas vasculares tienen la capacidad de establecer una relación simbiótica con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y estos contribuyen a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo por absorción. Por lo que al inocular plantas de haba con MA y al aplicarles fósforo, se obtendrán plantas más vigorosas, con un mejor desarrollo foliar y radical.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares nativas de un suelo agrícola de Santa Justina Ecatepec, Estado de Tlaxcala, sobre el desarrollo de plantas de haba, aplicando diferentes dosis de fósforo, a nivel de invernadero.

Objetivos particulares:

- 1.- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo de donde se obtendrá el inóculo de MA (textura, pH, densidades aparente y real, porcentajes de espacio poroso, humedad, conductividad eléctrica, % materia orgánica, % nitrógeno y fósforo aprovechable).

- 2.- Conocer la abundancia de los hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo que se utilizó para la obtención del inóculo.

- 3.- Producir inóculo de MA.

- 4.- Evaluar el efecto de la inoculación con MA sobre algunos caracteres fenotípicos de las plantas de haba aplicando diferentes concentraciones de fósforo.

- 5.- Determinar la colonización micorrízica arbuscular en las plantas de Vicia faba.

MÉTODOS

Se manejaron cuatro fases; de campo, de laboratorio, de invernadero y de gabinete.

FASE DE CAMPO.

Se colectó una muestra compuesta de suelo en un terreno agrícola ubicado en la zona de Tezoquipán en la comunidad de Santa Justina Ecatepec Edo. de Tlaxcala; así mismo se colectaron muestras de plantas de cultivo que se encontraban en dicho terreno para observar si existían micorrizas y de esta forma preparar un inóculo micorrízico.

FASE DE LABORATORIO

Se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo que se utilizó para propagar las MA nativas de esta zona, como se muestra en el cuadro 1.

Se determinaron el fósforo y nitrógeno foliar en todos los tratamientos, de acuerdo al cuadro 2.

Cuadro 1. Propiedades físicas, químicas y biológicas que se determinaron en el suelo agrícola.

PROPIEDAD	MÉTODO	FUENTE
Conductividad eléctrica	Extracto 1 : 5 en agua	Jackson, (1982)
Densidad aparente	De la probeta	Palmer, (1977)
Densidad real	Del picnómetro	Reyes, (1996)
% de espacio poroso	Relación DR-DA	Pulido, (1989)
% de humedad	Gravimétrico	Pulido, (1989)
Textura	Bouyoucus	Pulido, (1989)
pH real	Extracto 1 : 2.5 H ₂ O	Jackson, (1982)
pH potencial	Extracto 1 : 2.5 K Cl. 1N	Reyes, (1996)
Materia orgánica	Walkley y Black	Jackson, (1982)
“P” aprovechable	Bray y Kurtz	Ruiz y Ortega, (1979)
Nitrógeno total	Semimicrokjendahl	Ruiz y Ortega, (1979)
Número de esporas	Tamizado y decantado	González y Ferrera,(1993)
Colonización total	Porcentaje de colonización con azul de tripano.	González y Ferrera,(1993)

Cuadro 2.- Determinaciones que se realizaron a las plantas de haba.

DETERMINACIÓN	MÉTODO	FUENTE
Nitrógeno total (N)	Semimicro-kjeldahl	Bremmer, 1965
Fósforo (P)	Vanadato-molibdato	Allan, 1971

PRODUCCIÓN DEL INÓCULO DE MA

El inóculo de micorrizas arbusculares se propagó de la siguiente manera:

- i) Se colocaron 40 Kg de suelo tomado del terreno agrícola en cuatro contenedores de madera con dimensiones 40 x 60 x 30 cm.
- ii) En estos contenedores se sembraron semillas de maíz, las cuales sirvieron como planta trampa para propagar las micorrizas arbusculares nativas del suelo agrícola de Tlaxcala. Las plantas de maíz se dejaron crecer por 90 días y se cosecharon, para evaluar la colonización micorrízica.
- iii) Luego se determinó la colonización micorrízica de las plantas de maíz por el método de Phillips y Hayman, 1970 (González y Ferrera, 1993), las cuales se cosecharon utilizando solamente las raíces.
- iv) Posteriormente se lavaron las raíces con agua corriente de la llave, luego se les aplicó por tres minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 10%.

- v) Después se enjuagaron con agua destilada estéril hasta eliminar el exceso de cloro.
- vi) Dentro de la campana y previamente esterilizada, se cortaron las raíces en trozos de aproximadamente 5 mm, los cuales se mezclaron perfectamente con las semillas de haba.
- vii) En todos los tratamientos inoculados se aplicó 70 g de inóculo por maceta.

EVALUACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA ARBUSCULAR

El método utilizado para esta evaluación fue propuesto por Phillips y Hayman, 1970; Kormanik y Mc Graw, 1982 (González y Ferrera-Cerrato, 1993). Este involucra a) clareo, b) blanqueo, c) acidificación, d) tinción, y e) decoloración, y consiste en lo siguiente:

Las raíces libres de suelo se colocan en cápsulas esterilizadas, y se colocan dentro de un vaso de precipitados al que se agrega suficiente KOH al 10 % para cubrirlas. Se procede a calentar por 10 minutos bajo 10 libras de presión (*clareo*). El KOH es retirado y las cápsulas con las raíces se enjuagan con agua destilada. Se agrega H₂O₂ al 10 % en suficiente cantidad para que cubra las raíces durante tres minutos, pasado este tiempo se procede a enjuagar con agua destilada (*blanqueo*). Las raíces se cubren con HCl al 10 % por tres minutos se elimina el ácido y sin enjuagar se procede a la tinción (*acidificación*). Las cápsulas que contienen las raíces se cubren con una solución colorante (azul de tripano 0.05 % en lactoglicerol) y se calientan por 10 minutos a

10 libras de presión (*tinción*). El colorante se elimina y se decoloran las raíces con lactoglicerol limpio (*decoloración*).

Para la determinación del porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en raíces se requiere el montaje de raíces teñidas en portaobjetos para posteriormente evaluarse al microscopio óptico. Se colocan en el portaobjetos 20 segmentos de aproximadamente 1 cm, paralelamente unos a otros. Sobre las raíces se adicionan gotas de lactoglicerol colocando los cubreobjetos y cada laminilla se sella con esmalte. Para realizar la evaluación se observa al microscopio con el aumento de 100 x; se realizan tres pasajes equidistantes por laminilla.

Al revisar un campo óptico donde se encuentra un segmento que contiene hifas, vesículas y/o arbusculos, independientemente de la intensidad de micorrización se da el valor de uno para la evaluación total por estructuras.

El porcentaje de colonización micorrízica arbuscular por estructuras y total se obtiene mediante las fórmulas del cuadro 3.

Cuadro 3.- Fórmulas para evaluar la colonización micorrízica arbuscular, vesicular y total.

MEDICIÓN	FÓRMULA
% de colonización total	$\frac{\text{No. de segmentos colonizados}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$
% de colonización por vesículas	$\frac{\text{No. de segmentos con vesículas}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$
% de colonización de arbusculos	$\frac{\text{No. de segmentos con arbusculos}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$

SOLUCIÓN NUTRITIVA DE LONG ASHTON

Se usó una solución mineral nutritiva (cuadro 4), para regar las plantas de haba; esta contenía los nutrientes esenciales para un buen desarrollo de las plantas. Donde se mezclaron y se aforaron a un litro con agua destilada, las cantidades de reactivo indicadas en la última columna y sólo se varió la concentración de fósforo para obtener las concentraciones baja, media y alta. Esta solución tiene la siguiente composición:

Cuadro 4.- Preparación de la solución nutritiva Long Ashton

SOLUCIÓN PATRÓN	CANTIDAD DE REACTIVO		AFORAR A UN L DE AGUA DESTILADA
K NO₃	80.8 g L ⁻¹		5 mL
Mg SO₄. 7 H₂O	73.6 g L ⁻¹		5 mL
Ca (NO₃)₂.4 H₂O	188.8 g L ⁻¹		5 mL
Na H₂PO₄.H₂O (Fuente de fósforo)	36.8 g L ⁻¹		C.B = 1.34 mL
			C.M = 3.37 mL
			C.A = 5.40 mL
Elementos traza	Mg SO ₄ .H ₂ O	1.69 g L ⁻¹	1 mL
	Ca SO ₄ .5 H ₂ O	0.25 g L ⁻¹	
	Zn SO ₄ .7 H ₂ O	0.29 g L ⁻¹	
	H ₃ BO ₃	3.10 g L ⁻¹	
	Na Cl	5.9 g L ⁻¹	
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.088 g L ⁻¹	
Solución stock de citrato	Fe C ₆ H ₃ O ₇	4.9 g L ⁻¹	5 mL
	H ₃ C ₆ H ₅ O ₇ .H ₂ O	4.9 g L ⁻¹	

En el diseño experimental se utilizaron tres dosis de fósforo, las cuales aparecen en el cuadro 5.

Cuadro 5.- Concentración de fósforo que se utilizó en los diferentes tratamientos.

Dosis de fósforo	Concentración
Baja	11 mg L ⁻¹
Media	28 mg L ⁻¹
Alta	44 mg L ⁻¹

FASE DE INVERNADERO

Esta fase duro en total 90 días, de los cuales, cada quince días se realizaba un muestreo, para tener un total de seis muestreos; donde el sexto muestreo fue el tiempo de cosecha.

SIEMBRA

Las semillas que se utilizaron en este proyecto fueron de Vicia faba L. var. equina Pers. (estas semillas son criollas, cultivadas en Santa Justina, Tlaxcala), conocida en esta región como “ haba cochinerá”. En cada maceta se colocaran dos semillas a una profundidad de 5 cm. En los tratamientos inoculados con MA se les aplico 70 g del inóculo por unidad experimental. Cada quince días se midieron los siguientes parámetros: altura, número de hojas, número de tallos, número de flores, diámetro de tallo, volumen de raíz, longitud de raíz y peso de raíz y se realizó un muestreo destructivo a los 45 días.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se colocaron ocho tratamientos con nueve repeticiones cada uno, los cuales se distribuyeron sobre un bancal dentro del invernadero de la FES-ZARAGOZA, siendo los que se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6.- Tratamientos en el diseño experimental a nivel de invernadero.

TRATAMIENTO	COMPONENTES	ABREVIATURA
1	Testigo (absoluto).	TA
2	Con una concentración baja de fósforo.	FCB
3	Con una concentración media de fósforo.	FCM
4	Con una concentración alta de fósforo.	FCA
5	Micorrizado.	M
6	Con micorrizas y una concentración baja de fósforo.	M + FCB
7	Con micorrizas y una concentración media de fósforo	M + FCM
8	Con micorrizas y una concentración alta de fósforo.	M + FCA

PREPARACIÓN DEL EXPERIMENTO

Se enjuagó la arena con agua corriente y se deja reposar por 24 horas en una solución de hipoclorito de sodio al 10%; se enjuagó nuevamente hasta eliminar el exceso de cloro. Posteriormente la arena que se lavó, se escurrió y se colocó en bolsas de polipapel; después se esterilizó en

autoclave (marca Corporation SN – MI modelo SM 360^a) a una presión de 12 lb/cm³, durante tres horas.

En total se obtuvieron 72 unidades experimentales en bolsas de polietileno de color negro con una capacidad de 3.5 Kg), donde se colocaron aproximadamente tres kilogramos de sustrato esterilizado y dos semillas de haba cada una y una porción de inóculo, el cual fue de 70 gramos por maceta (sólo en el caso de tratamientos con inóculo). El sustrato a utilizar fue arena de río, la cual se preparó de la siguiente manera:

Las unidades experimentales fueron regadas con la solución nutritiva Long Ashton (cuadro 4). La aplicación de la solución nutritiva se realizó cada 15 días.

COSECHA

Transcurridos 90 días después de la siembra se procede a colectar las plantas de haba, esto es, que se retiran las plantas de las bolsas en las que están plantadas, procurando que tanto la parte aérea y la parte radical se obtengan lo más completamente posible.

FASE DE GABINETE

En esta parte se realizó el análisis, discusión y elaboración del documento final de la investigación.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis que se realizó en esta investigación fue el: Análisis de rango múltiple, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un α de 0.05, esto en todos los parámetros antes mencionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis de suelo.

Del análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo del terreno agrícola de Santa Justina Ecatepec en el estado de Tlaxcala, se obtuvieron los siguientes resultados (cuadro 7).

Cuadro 7.- Propiedades físicas y químicas del suelo.

PROPIEDAD	RESULTADO
Densidad aparente	0.99 g cc ⁻¹
Densidad real	2.68 g cc ⁻¹
% de espacio poroso	62.9 %
% de humedad	7.35 %
% de arena	53 %
% de limo	32 %
% de arcilla	15 %
Clase Textural	Migajón-arcilloso-arenoso
Conductividad eléctrica	0.1113 dS m ⁻¹
pH real	6.8
pH potencial	6.4
% de Materia orgánica	1.9 %
Fósforo aprovechable	15.3 mg kg ⁻¹
Nitrógeno total	0.19 %
Número de esporas	200 esporas / 100 g de suelo

El suelo que se utilizó para la preparación del inóculo es un Andisol, de acuerdo a la carta edafológica E14B32 1:1 000 000 de Ixtacuixtla de Matamoros.

El valor medio aceptado internacionalmente para la densidad real es de 2.65 g cc^{-1} y en este caso se observa un valor ligeramente mayor (2.68 g cc^{-1}), ya que estos suelos se encuentran formados por cuarzos y feldespatos los cuales son materiales relativamente pesados.

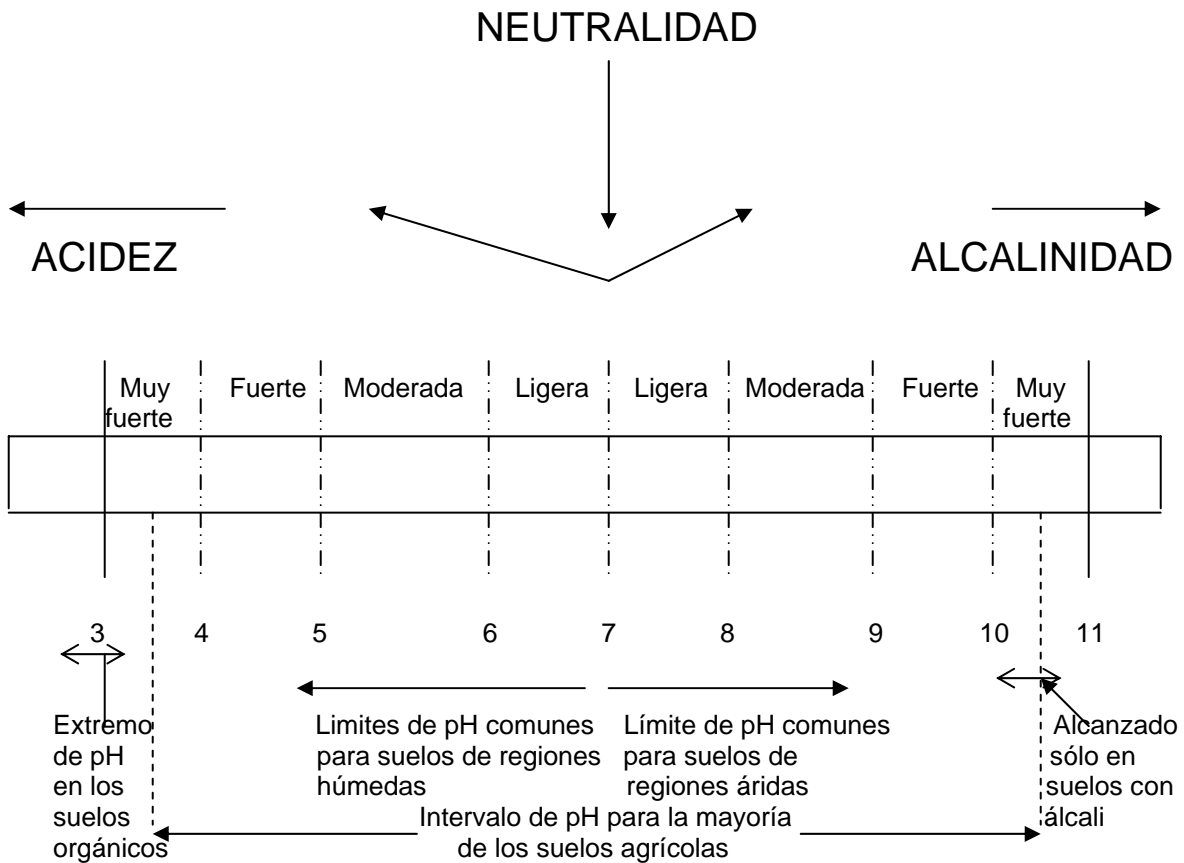
Los suelos con densidades aparentes inferiores a 1.3 g cm^{-3} tienen un espacio poroso superior a 50.9 %, lo que concuerda con el resultado obtenido ya que es de 62.9 %.

Los contenidos de arena, limo y arcilla (53, 32, y 15 % respectivamente), ubican al suelo en la clase textural migajón-arcillo-arenoso, y con un alto espacio poroso de 62.9%, lo que, aunado a una textura granular indica que ambas propiedades le dan al suelo una capacidad favorable para captar y retener agua.

De acuerdo con Moreno (1990), y Velasco (1983), es un suelo mediano en cuanto a contenido de materia orgánica ya que el valor determinado es de 1.88%. Aún cuando estos suelos son abonados cada cinco años (información proporcionada por el dueño de este terreno agrícola), se incrementa temporalmente los contenidos de materia orgánica pero después de un tiempo regresan a su valor inicial, debido a la mineralización de la misma dejando a su vez nutrientes libres para el aprovechamiento por parte de las plantas (Fitzpatrick. 1984).

El pH obtenido para este suelo es de 6.8 y es un suelo ligeramente ácido casi neutro, (ver figura 3), ya que es un suelo relativamente húmedo en condiciones naturales (humedad del 7.35%) .

Figura 7.- Escala del pH del suelo



La conductividad eléctrica se utiliza para indicar el contenido de sales solubles en la clasificación de los suelos por salinidad (Moreno, 1990). Para este suelo y de acuerdo a la clasificación tenemos un suelo de Clase 1, con 0.11 dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, con efectos muy bajos de salinidad.

Los niveles en la concentración de fósforo son de 15.3 mg kg^{-1} , y es una concentración media de fósforo; pero de acuerdo con Jackson (1982), es un alto contenido de fósforo, esto se explica porque al mineralizarse la materia orgánica y al descomponerse se ponen en libertad los iones fosfato.

En cuanto al nitrógeno total del suelo tenemos un valor de 0.1945% y corresponde a un suelo rico en nitrógeno y de acuerdo con Moreno (1990), es un suelo moderadamente rico. Esta concentración alta de nitrógeno probablemente se debe a que se adicionan abonos orgánicos al suelo año tras año.

En las muestras analizadas de suelo se encontraron 200 esporas por cada 100 gr. de suelo. Con este suelo se inocularon las plantas que sirvieron para la preparación del inóculo. La baja densidad de esporas se puede atribuir a que año con año se aplican herbicidas y fertilizantes químicos y de igual manera se utiliza maquinaria agrícola pesada. A pesar de que la densidad de esporas es pequeña la efectividad de éstas para inocular es muy alta, ya que al evaluar la colonización micorrízica total de las plantas trampa (maíz) alcanzaron un 80% .

Werner (1992), menciona que el número de esporas en el suelo varía de acuerdo al cultivo y a la densidad de siembra. Varía entre 200 y 2000

esporas por kilogramo de suelo, es decir, entre 1 y 200 esporas por cada 100 gr. de suelo. Los conteos de esporas y la efectividad no están correlacionadas del todo, es decir, el que exista una gran cantidad de esporas no indica que se obtengan porcentajes altos de colonización o el caso contrario, ya que depende de la especie colonizadora y la especie a colonizar (ver cuadro 8). Así mismo la cantidad de esporas del suelo depende de la perturbación que el suelo haya sufrido (Hayman, 1982). En este suelo se distinguieron esporas del género *Glomus* y al menos dos morfoespecies.

Cuadro 8.- Número de esporas en diferentes suelos (Werner, 1992).

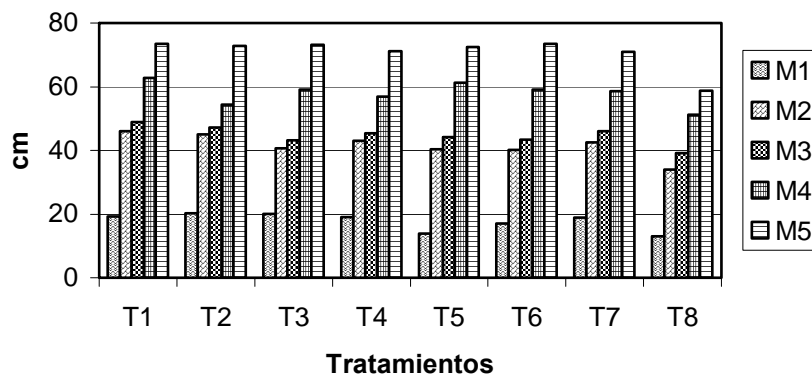
No. de esporas en 100 g de suelo	Características del suelo	Fuente bibliográfica
6 a 1 590	Pastizales, montes y bosques.	Hayman, (1982)
1 a 200	En general	Werner, (1992)
2 900	Suelo no perturbado	Boddington y Dodd, (2000)
1 200	Suelo perturbado con un pico	Boddington y Dodd, (2000)
2 500	Agostadero perturbado con agricultura y ganadería	Medrano, (2002)
20 000	Agostadero con menos perturbación	Medrano, (2002)
3 339	Bosque de pino encino	Rojas, (2003)

Tomado de Rojas, (2003).

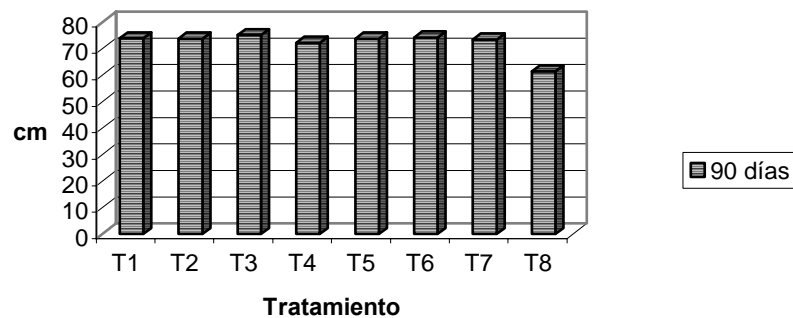
En el cuadro 8 se observa que la cantidad de esporas que se pueden encontrar en algunos tipos de suelo, se localizan en un rango muy amplio, ya que depende de las condiciones en que encontremos un suelo determinado.

Resultados de las pruebas agronómicas.

La cosecha de las plántulas de haba se realizó a los 90 días de desarrollo y se realizaron 6 muestreos, los cuales se representan en dos gráficas, en la primera los primeros cinco muestreos y en la segunda gráfica el sexto muestreo que corresponde a la cosecha (*esta misma descripción es igual para todas las pruebas*), donde se midieron las variables agronómicas ya mencionadas encontrando lo siguiente.



Gráfica 1.- Altura foliar de las plantas de haba desde los 15 hasta los 75 días de desarrollo.

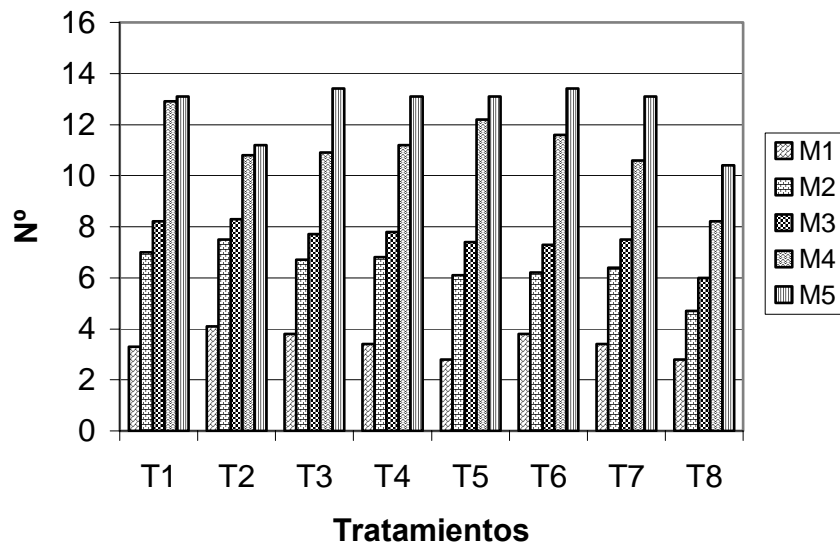


Gráfica 2.- Altura foliar de las plantas de haba a los 90 días de desarrollo (cosecha).

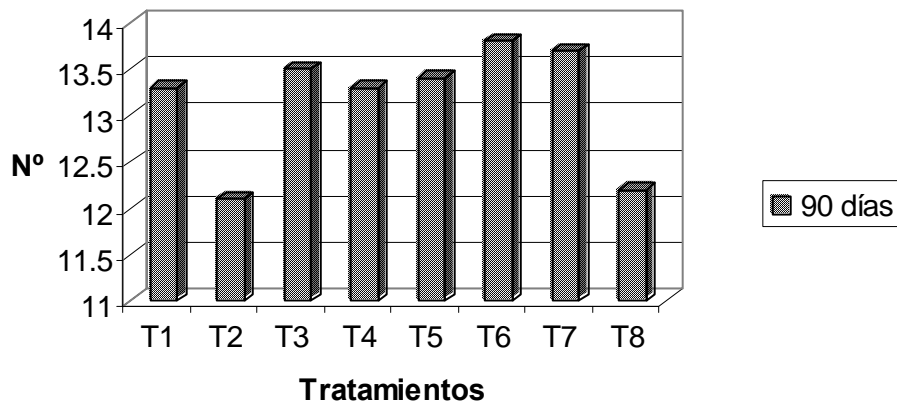
T1= Testigo absoluto; T2=Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo. M1, M2, M3, M4 y M5 = Muestreos.

En las gráficas 1 y 2, se representan los valores que corresponden a las alturas registradas en las plántulas de haba para todos los tratamientos y durante los seis muestreos realizados.

Para este parámetro puede observarse que se presenta diferencia estadística significativa para el tratamiento ocho (T8) con respecto a los demás tratamientos (Ver apéndice). El crecimiento es similar durante los seis muestreos, ya que la diferencia estadística se mantiene constante para el T8, siendo este el que presenta el menor valor (61 cm); al final del experimento la altura promedio alcanzada por las plántulas de haba fue de 61 y 75 cm en los demás tratamientos. Un comportamiento semejante lo observaron Boddington, 2000.; Alarcón, 2000; Miranda, 2003 y Rojas, 2003; que al experimentar con **Dodonea viscosa**, **Citrus volkameriana**, **Acacia shaffneri** y **Vicia faba** y al inocularlas con HMA y cuantificar parámetros semejantes a los evaluados en esta investigación presentan, los valores máximos en cuanto a altura en comparación a tratamientos no micorrizados y testigos.



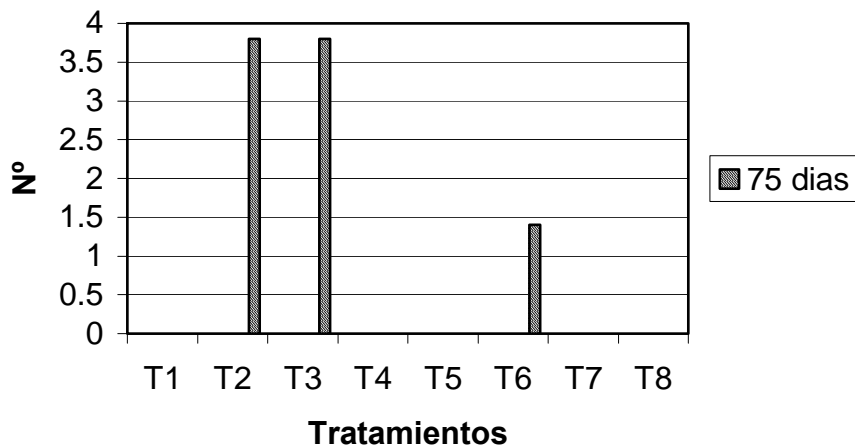
Gráfica 3.- Número de hojas (pinas) en plantas de haba de los 15 a los 75 días de desarrollo.



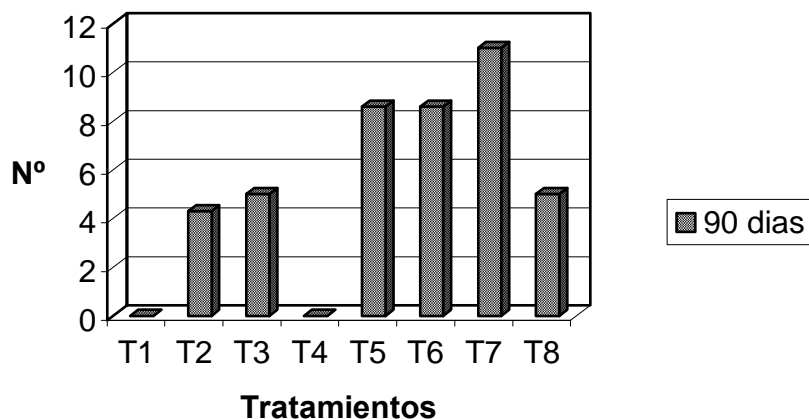
Gráfica 4.- Número de hojas (pinas) en plantas de haba a los 90 días de desarrollo (cosecha).

T1= Testigo absoluto; T2= Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo. M1, M2, M3, M4 y M5 = Muestras.

En la gráfica 3 se muestran los valores que corresponden al número de hojas (pinas), de las plántulas de haba en todos los tratamientos y en los cinco primeros muestreos. Aquí se puede observar que los tratamientos micorrizados tienen valores ligeramente más altos que los tratamientos no micorrizados, por lo que podemos decir que las micorrizas ayudan a las plantas a tener un follaje más abundante, lo que representa un área foliar mayor de exposición para realizar fotosíntesis. Existe diferencia estadística significativa sólo para los tratamientos T2 y T6 (gráfica 4) a los 90 días, siendo el valor más bajo para el T2, que es un tratamiento solo fertilizado con la dosis más baja de fósforo y el T6 es un tratamiento micorrizado con dosis media de fósforo, presentando un beneficio mayor en cuanto a esta característica todos los tratamientos micorrizados ya que presentan los valores promedio más elevados. En los trabajos como los de Miranda, 2003 y Alarcón, 2000; observaron que los tratamientos micorrizados tienden a desarrollar un mayor número de hojas y con mayor vigor aparente en comparación con los no micorrizadas, ya que ellos inocularon con HMA y evaluaron parámetros similares.



Gráfica 5.- Número de flores presentes en las plantas de haba a los 75 días de desarrollo.

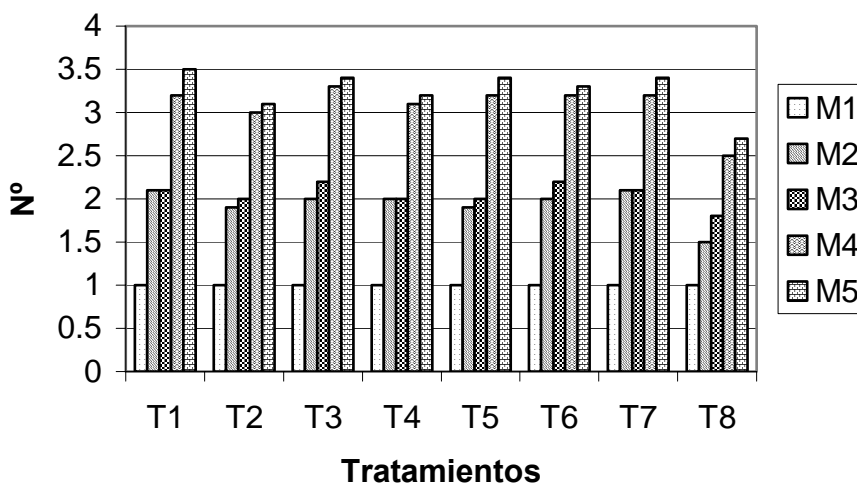


Gráfica 6.- Número de flores presentes en plantas de haba a los 90 días de desarrollo.

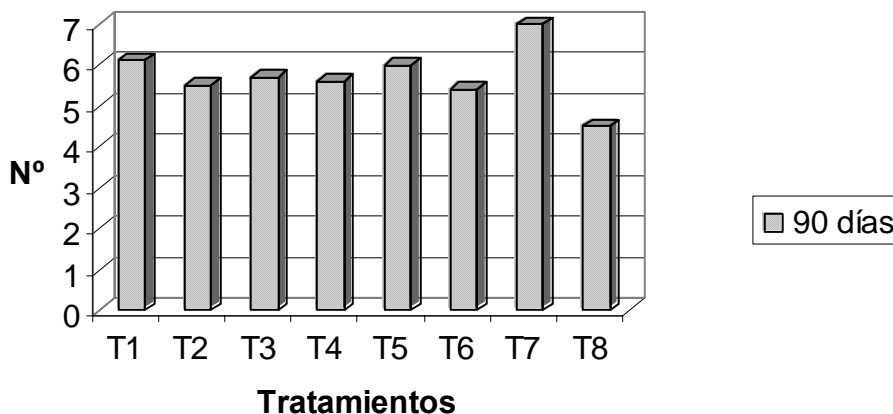
T1= Testigo absoluto; T2= Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo.

Con respecto al número de flores se observa que a los 75 días (gráfica 5) empiezan a aparecer las primeras flores y que sólo los tratamientos T2, T3 y T6 las presentan; destacando que T2 y T3 que son tratamientos no micorrizados y que tienen un valor alto de flores en promedio (3.8); mientras que el tratamiento T6 está micorrizado y tiene un valor bajo de flores en promedio (1.7). Hasta este momento parecía que los tratamientos no micorrizados tenían más éxito en la formación de flores; pero a los 90 días (gráfica 6), se encontró una situación completamente diferente ya que los tratamientos T2 y T3 solo aumentaron ligeramente la formación de flores (4.5 y 5 respectivamente), mientras que en los tratamientos T1 y T4 no presentan evidencia de la formación de flores, esto último se refiere a los tratamientos no micorrizados. En el caso de los tratamientos micorrizados, observamos que tienen los valores más altos, desde 5.2 hasta 11 flores en promedio, destacando que dentro de estos valores el menor (5.2) corresponde al T8 que tiene una dosis alta

de fósforo (44 mg.kg^{-1}) y el valor máximo (11 flores) corresponde al T7 que contiene una dosis media de fósforo (28 mg. Kg^{-1}), encontrando diferencia estadística significativa entre estos tratamientos. Considerando que las plantas de haba en condiciones normales y de campo, desarrollan sus flores a los 110 – 120 días después de la germinación. Con esto observamos que las plantas micorrizadas adelantan la floración (ya que aparecen a los 90 días) con respecto a las plantas testigo y a las que tienen sólo fósforo y por ello podemos decir que el hecho de que las plantas de haba estén micorrizadas, acortan su ciclo de vida. Resultados semejantes se han encontrado en trabajos como el de Alarcón, 2000; y Corredor, 2002; quienes mencionan que las plantas al estar inoculadas presentan precocidad en la formación de estructuras como flores y frutos.



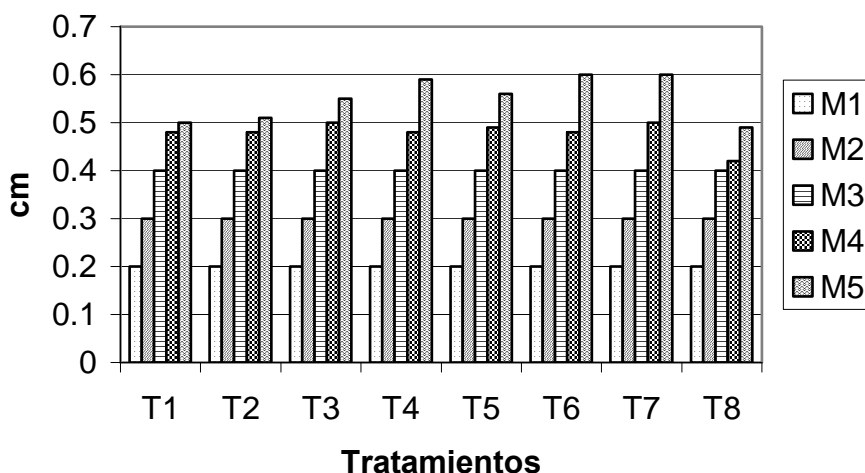
Gráfica 7.- Número de tallos en las plantas de haba de los 15 a los 75 días de desarrollo.



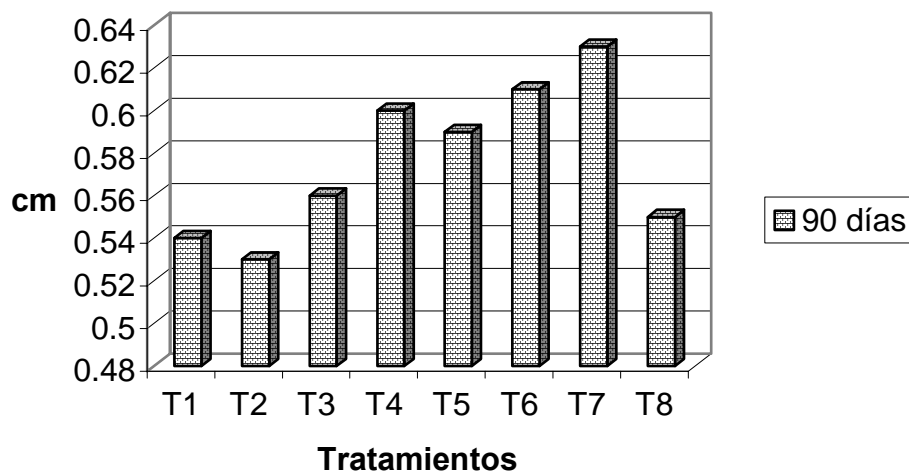
Gráfica 8.- Numero de tallos a los 90 días de desarrollo.

T1= Testigo absoluto; T2= Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo. M1, M2, M3, M4 y M5 = Muestras.

El análisis estadístico para los datos de la gráfica 7 y 8 no nos indica diferencias estadísticas significativas; pero, sin embargo en la gráfica observamos que hay diferencia numérica entre los tratamientos; esto es, que el tratamiento 7 (ver gráfica 8) presento el valor promedio más alto (7.0), mientras que los demás tratamientos son iguales o menores a 6.1. La diferencia más notable es para el T8 ya que tiene el valor más bajo (4.5). Con lo antes mencionado observamos que el mejor tratamiento es el T7 (micorrizas más dosis media de fósforo). El que las plantas tengan un mayor número de tallos es importante ya que nos sirve como indicador de un posible aumento en el número de flores; también es importante para la protección contra el viento ya que le da mayor vigor y resistencia contra esta acción.



Gráfica 9.- Diámetro del tallo de las plantas de haba de los 15 a los 75 días de desarrollo.



Gráfica 10.- Diámetro de tallo a los 90 días de desarrollo.

T1= Testigo absoluto; T2= Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo. M1, M2, M3, M4 y M5 = Muestreos.

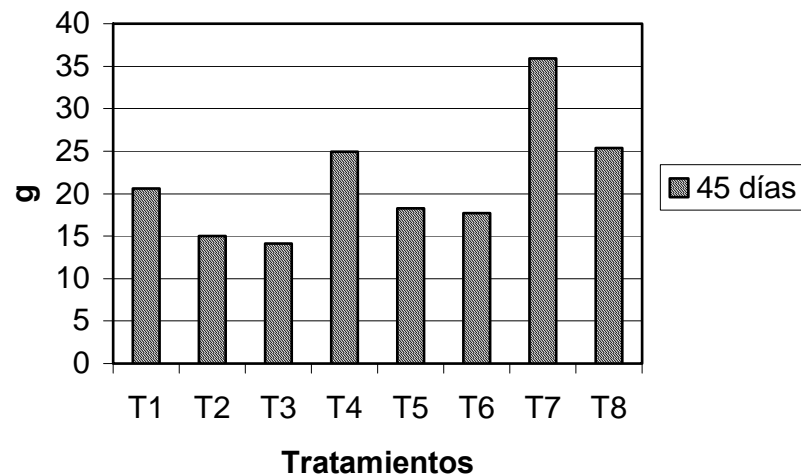
En las gráficas 9 y 10 se muestran los valores correspondientes al diámetro de tallo, el cual se obtuvo de la parte inferior de las plantas de haba en todos los tratamientos y durante los seis muestreos.

Se observa en la gráfica 9 que el aumento del diámetro de tallo, se mantiene constante para los tratamientos hasta el tercer muestreo, a partir del cuarto muestreo el T8 presenta los valores más bajos de diámetro de tallo con diferencia estadística significativa con respecto a los demás tratamientos, manteniéndose este comportamiento hasta los 90 días (cosecha).

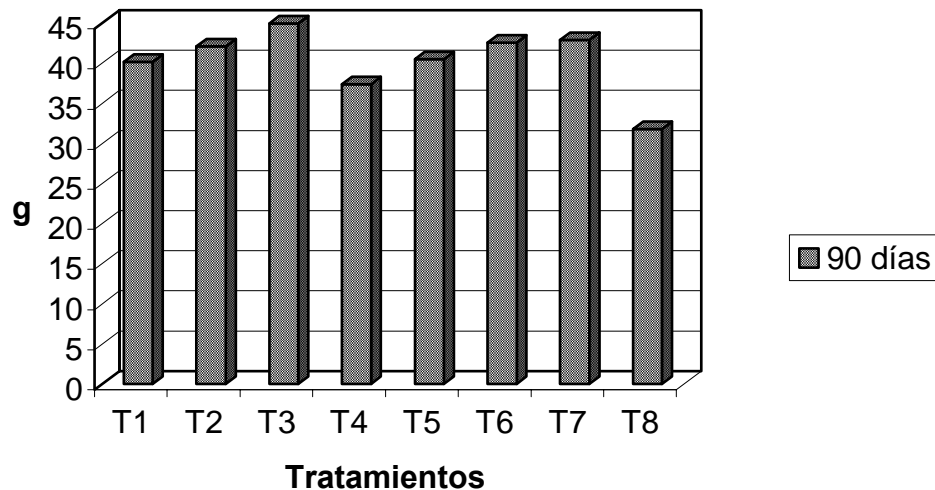
A los 90 días (ver gráfica 10), se observa que existe diferencia estadística significativa para los tratamientos T1 con respecto al tratamiento T7; T2 con T6 y T7, presentando los valores más bajos T2 y T1. También se observa que los tratamientos micorrizados presentan un mejor desarrollo del tallo. El valor promedio mínimo es para T2 (0.52 cm) y el valor promedio máximo es para T7 (0.63 cm).

El que las plantas tengan tallos más gruesos le permiten soportar en campo el derribamiento de las plantas sobre el suelo por la acción del viento (acame), ya que es un factor importante para las plantas porque una vez que se encuentran en el suelo no crecen, no desarrollan flores y en el peor de los casos se pudren las plantas.

Miranda, 2003; observo que la plantas de *Acacia schaffneri* presentan valores más altos de diámetro de tallo, cuando están inoculadas con MA, ya que él, inoculo esta especie para evaluar su establecimiento en condiciones de campo como un proceso de reforestación.



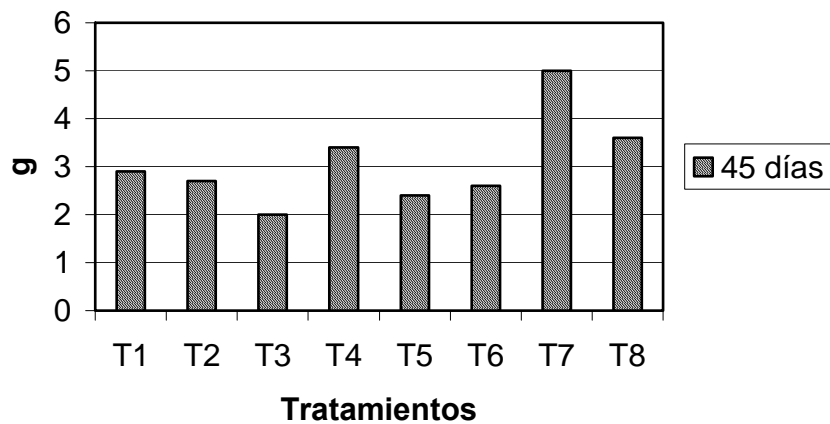
Gráfica 11.- Peso foliar fresco de plantas de haba a los 45.



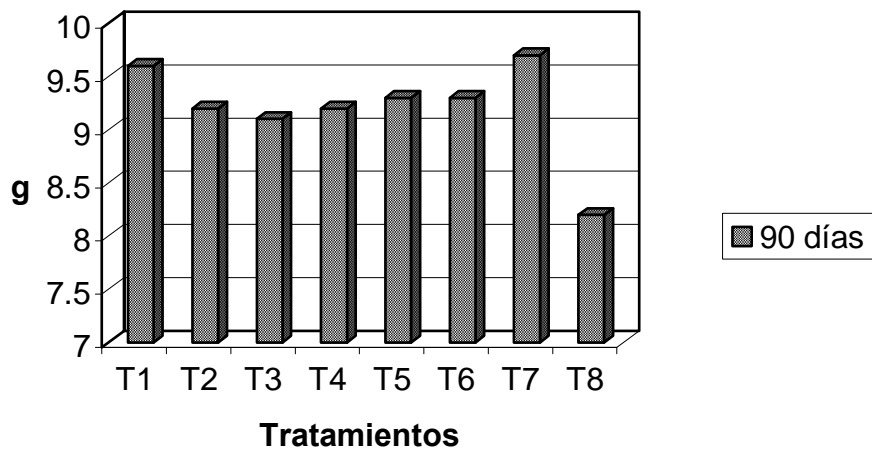
Gráfica 12.- Peso foliar fresco a los 90 días de desarrollo.

En la gráfica 11 se puede ver que los tratamientos micorrizados tuvieron valores promedio más altos en comparación a los tratamientos no micorrizados encontrando que el tratamiento con el valor más alto es T7, pero a pesar de esta condición podemos decir que entre mayor sea el peso de una planta es mayor la cantidad de nutrimentos absorbidos

del suelo, lo que nos lleva a un desgaste más acelerado del suelo. En el análisis estadístico encontramos que existe diferencia estadística significativa para el tratamiento T8 con los tratamientos T2, T3, T6 y T7, (ver gráfica 12).

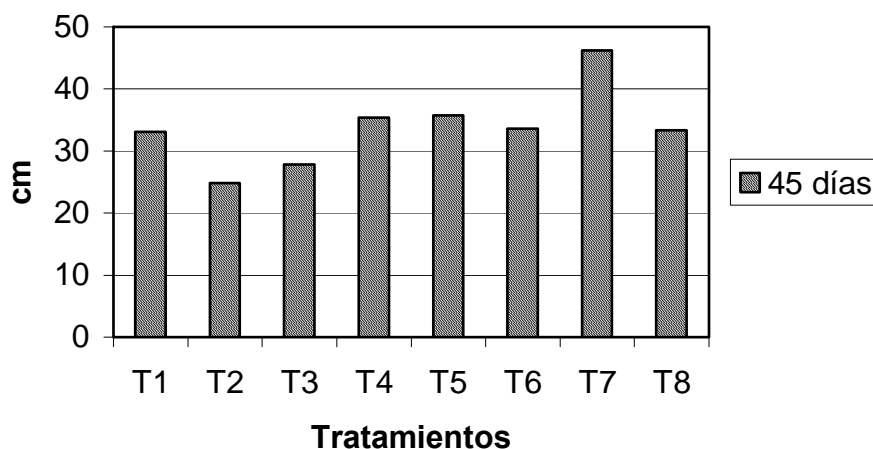


Gráfica 13.- Peso foliar seco de plantas de haba a los 45 días de desarrollo.

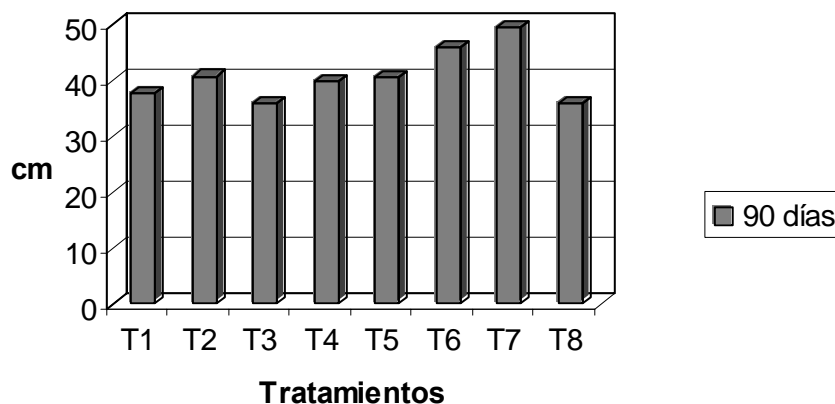


Gráfica 14.- Peso foliar seco a los 90 días de desarrollo.

Para el caso del peso foliar seco que se muestra en las gráficas 13 y 14, encontramos que no hay diferencia estadística significativa y no se notan diferencias bien definidas, por lo que se observa que la única diferencia, aunque, sea mínima es para el tratamiento T8 con respecto a los demás tratamientos, presentando los mayores valores el tratamiento T7, tanto a los 45 y 90 días de desarrollo de la planta.



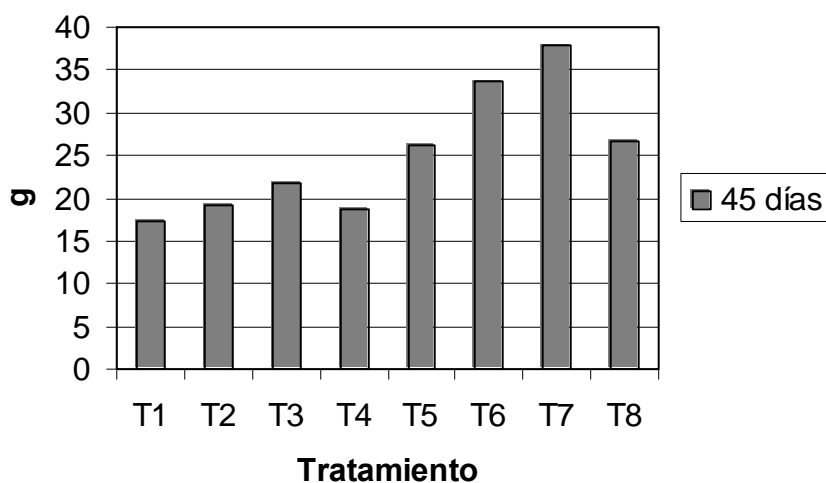
Gráfica 15.- Longitud de las raíces de las plantas de haba a los 45 días de desarrollo.



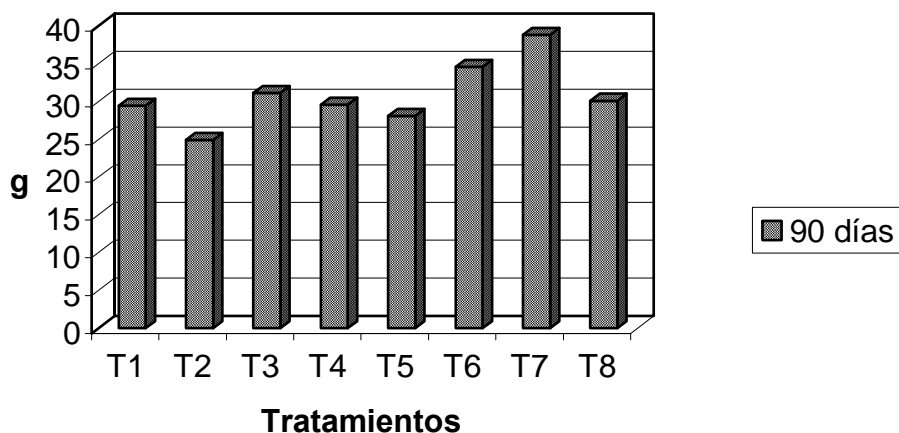
Gráfica 16.- Longitud de las raíces a los 90 días de desarrollo.

T1= Testigo absoluto; T2= Dosis baja de fósforo; T3= Dosis media de fósforo; T4= Dosis alta de fósforo; T5= Micorrizado; T6= Micorrizas más dosis baja de fósforo; T7= Micorrizas más dosis media de fósforo; T8= Micorrizas más dosis alta de fósforo.

En las gráficas 15 y 16 solo se observa lo que ocurrió a los 45 y a los 90 días ya que fueron muestreos destructivos, donde los tratamientos a los 45 días tienen una distribución y un comportamiento más o menos homogéneo, pero a los 90 días se observa que ya existen diferencias bien definidas como se explica a continuación. En este caso se observa que existe diferencia estadística significativa para los tratamientos T1 con T6 y T7, T3 con T6 y T7, T7 con T4 y T5 y finalmente T8 con T6 y T7. Observando que en la gráfica 16 los tratamientos micorrizados tienen los valores más altos y el T7 posee el valor promedio más alto (49.7 cm) y en el caso de los tratamientos no micorrizados tenemos los valores menores y dentro de los tratamientos micorrizados el T8 presenta el valor promedio más bajo (35.2cm).

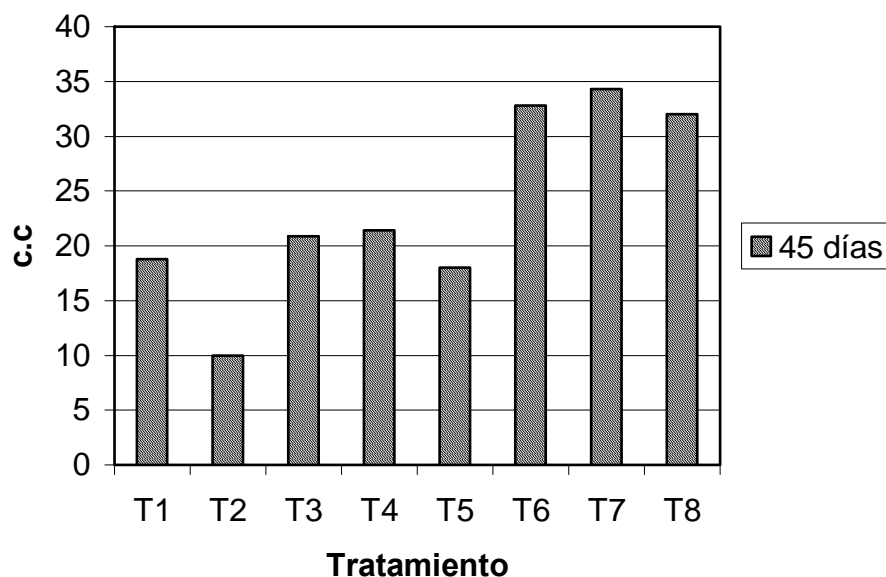


Gráfica 17: Peso de raíz de plantas de haba a los 45 días de desarrollo.

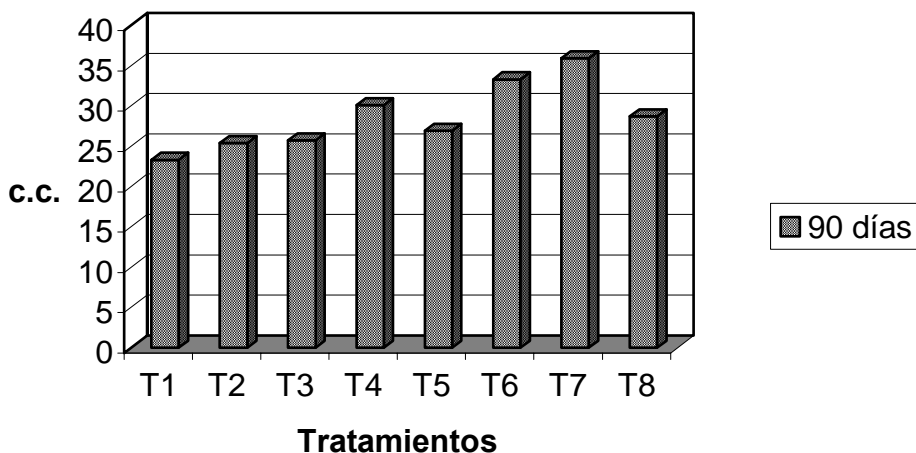


Gráfica 18.- Peso de raíz a los 90 días de desarrollo.

Las gráficas 17 y 18 representa los valores promedio del peso de raíz en donde observamos nuevamente que los tratamientos micorrizados tienen valores más altos, mientras que los tratamientos no micorrizados tienen los valores más bajos esto durante los dos muestreos realizados a los 45 y 90 días. Dentro del análisis estadístico encontramos que existen varias diferencias estadísticas significativas a los 90 días, las cuales son las siguientes: El tratamiento T6 con los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5; y el tratamiento T7 con los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T8; finalmente el tratamiento T2 con los tratamientos T4 y T8 estas diferencias se deben esencialmente a que existe un amplio rango entre los valores máximo y mínimo, teniendo que el valor promedio máximo es para el tratamiento T7 (39.7 g); seguido del tratamiento T6 (34.6 g) y el valor mínimo es para el tratamiento T2 (24.9 g).



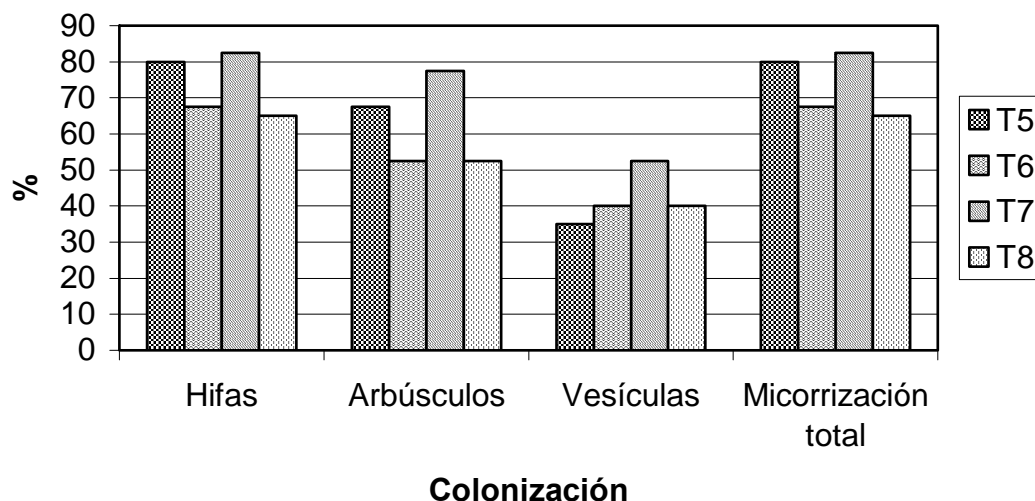
Gráfica 19.- Volumen de raíz de plantas de haba los 45 días de desarrollo.



Gráfica 20.- Volumen de raíz a los 90 días de desarrollo.

Como en el caso anterior los tratamientos micorrizados que se muestran en las gráficas 19 y 20, tienen los valores promedio más altos a diferencia de los tratamientos no micorrizados, que nuevamente

poseen los valores más bajos, esto durante los muestreos realizados a los 45 y 90 días de desarrollo. El análisis estadístico nos indica que a los 90 días (gráfica 20) existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos T6 con T1, T2, T3, T4, T5 y T8 de igual manera el tratamiento T7 con los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T8; y finalmente T1 con T5 (ver apéndice); encontrado que el valor promedio máximo es para el tratamiento T7 (35.9 c.c.), seguido del tratamiento T6 (33.3 c.c.) y el valor promedio mínimo es para el T1 (23.3 c.c.).



Gráfica 21.- Porcentaje de la colonización micorrízica en raíces de haba.

T5= Solamente micorrizas; T6= Micorrizas más fertilizante en concentración baja; T7= Micorrizas más fertilizante en concentración media; T8= Micorrizas más fertilizante en concentración alta.

En la gráfica número 21 se muestran los porcentajes de colonización micorrízica por hifas, por arbúsculos, por vesículas y la colonización micorrízica total de los tratamientos micorrizados. En este caso puede observarse que el tratamiento que representa el valor máximo en cuanto

a la colonización micorrízica por hifas, por arbusculos y colonización micorrízica total corresponde al tratamiento T7 con una concentración media de fósforo con más del 80% de colonización; lo que nos indica que una concentración de fósforo de 28 mg. kg^{-1} es apropiada para favorecer la colonización micorrízica en este cultivo. El tratamiento con el valor mínimo para la colonización micorrízica por hifas y colonización micorrízica total es el tratamiento que tiene una concentración alta de fósforo (T8). Lo que nos indica que esta dosis de fósforo limita a los HMA, ya que inhibe su desarrollo y actividad; esto mismo se ha encontrado en trabajos anteriores Azcón y Barea, 1988; y Rojas, 2003; quienes al evaluar el desarrollo y establecimiento de los HMA a diferentes concentraciones de fósforo; encontraron que dosis mayores a 50 mg. Kg^{-1} de fósforo se inhibe significativamente la colonización micorrízica. Para el caso de colonización por arbusculos se observa que el valor máximo (78%) es para el T7 y el valor mínimo (40%) es para los T6 y T8 entendiéndose que el comportamiento es similar a la situación anterior. La colonización por arbusculos es más abundante que la colonización por vesículas; esto se debe principalmente a la edad de la planta, ya que en esta etapa la actividad micorrízica más importante es el intercambio de nutrientes, también se debe a que primero se forman los arbusculos y posteriormente se forman las vesículas.

RESULTADOS DE NITRÓGENO Y FOSFORO

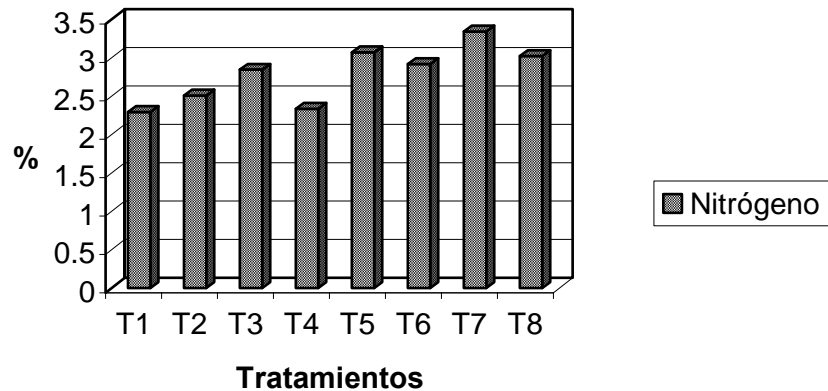
En las determinaciones de nitrógeno total y fósforo para las plántulas de haba se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 9.- Porcentaje promedio de nitrógeno total y fósforo en plántulas de haba.

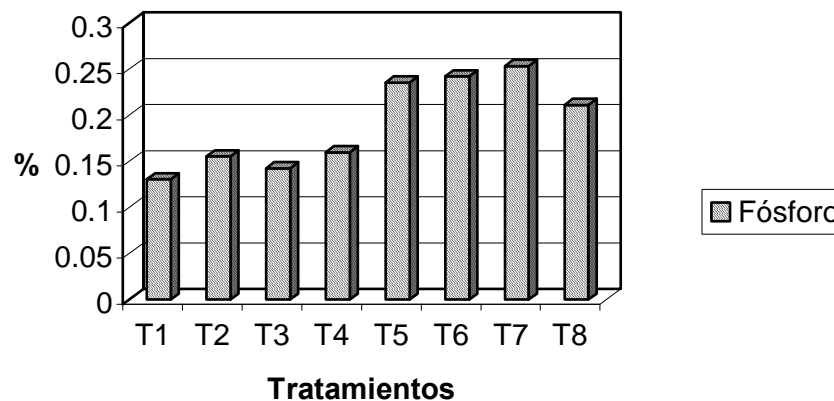
TRATAMIENTO	NITRÓGENO TOTAL (%)	FÓSFORO (%)
1	2.298	0.1307
2	2.510	0.1555
3	2.848	0.1426
4	2.336	0.1598
5	3.073	0.2357
6	2.923	0.2422
7	3.347	0.2535
8	3.023	0.2114

En el cuadro 9 se presentan los valores de nitrógeno total y fósforo foliar de las plantas de haba, observando que ambos se encuentran en un nivel de suficiencia, por lo cual las plantas no tiene problemas de nutrición a los 90 días de desarrollo (Chapman, 1997). También se observa en las gráficas 22 y 23 que los valores Máximos para estos nutrientes los presentan las plantas inoculadas con MA, ya que los porcentajes de nitrógeno y fósforo son más altos en estas, y el tratamiento 8 es el que tiene los valores más bajos dentro de este grupo

de plantas inoculadas, pero aún así, su porcentaje es más alto que los tratamientos sólo fertilizados, situación que nos permite decir, que la condición de estar colonizada con las MA favorece la absorción del nitrógeno y fósforo, creando condiciones en la planta de suficiencia nutrimental en estos elementos, como lo menciona Miller, (1974), que el incremento en la concentración y asimilación de fósforo en la plantas provoca un incremento positivo en la asimilación de N, debido a un mejor desarrollo de la raíz.



Gráfica 22.- Contenido de nitrógeno total en plantas de haba.



Gráfica 23.- Contenido de fósforo foliar en plantas de haba.

CONCLUSIONES

- El suelo que se utilizó para preparar el inóculo es un Andisol, migajón-arcillo-arenoso; mediano en contenido de materia orgánica, con altos contenidos de fósforo aprovechable y medianamente rico en nitrógeno aprovechable; este suelo no presenta problemas de salinidad.
- Se encontró una baja cantidad de esporas en este suelo, por lo cual resulta necesario inocular las plantas de haba que se quieran cultivar a nivel de campo.
- Se encontraron dos morfoespecies del Género **Glomus**, dentro de este suelo.
- Las plantas inoculadas presentaron un mejor desarrollo que las plantas que solo fueron fertilizadas. Por lo que es mejor inocular el haba en lugar de fertilizarla.
- Las plantas inoculadas y con una dosis media de fósforo, presentaron un mejor desarrollo radical.
- La presencia de HMA en haba le proporciona precocidad en su ciclo de vida, ya que adelanta la floración.

- El haba es un buen hospedero para los HMA ya que tiene un valor de colonización mayor al 80%.
- La fertilización fosfatada en dosis alta inhibe la colonización y eficiencia de los HMA.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere que las macetas sean más altas para evitar que se amontone la raíz de planta y al mismo tiempo favorecer el crecimiento de la misma.
- Es necesario dar continuidad a esta investigación en campo, con la finalidad de corroborar los resultados de invernadero.
- Se sugiere experimentar con abonos y/o compostas ricas en fósforo.
- Se sugiere experimentar con bacterias solubilizadoras de fosfatos ya sea como inóculo o en doble inóculo con HMA.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Alarcón A. (2000) *Aplicación de fósforo e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y estado nutricional de Citrus volkameriana Tan & Pasq.* Colegio de postgraduados. Terra 21: 91 – 99.
- 2.- Allan, J. E. (1971). *The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy.* Varian Techtron, Creek, California.
- 3.- Azcón R. (2000) *Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola.* E.F.B.M.A. Alarcón y Cerrato. México. pp:1-15.
- 4.- Azcón G. C. Y Barea J. M. (1988) *Micorrizas.* Biología vegetal. Libros de investigación y ciencia. Scientific American, Prensa científica, España. pp. 1, 2, 60-79
- 5.- Boddington, C. L. y Dodd, J. C. (2000). *The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol.* En: Plant and soil. 218: 137 – 144, 2000.
- 6.- Bohn H.L. et al., (1985) *Soil chemistry 2th.* Edition. Wiley Inc: New York.
- 7.- Bremner, J. M. (1965). *Total nitrogen.* Pp. 1149-1178. In: C. A. Black (ed). *Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- 8.- Carta edafológica E14B32 1: 1 000 000.
- 9.- Cole V.V. et al., (1983) *The effects of nitrogen on short-term phosphorus absorption and translocation in corn.* Soil Sci. Soc. Am. Número: 27: 671-674.
- 10.- Fitzpatrick, E. A. (1984). *Suelos: su formación, clasificación y distribución.* CECSA. México. pp: 335-339.
- 11.- Gerdeman, J.W. and Trappe, J.M. 1975. *Taxonomy of the Endogonaceae in Endomycorrhizas.* F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinkes. Eds. Academic Press, London and New York. 35-51 pp.
- 12.- González C. M.C. y Ferrera C. R et. al. (1993) *Manual de agromicrobiología.* Ed. Trillas. México. D. F. pp . 53 – 92.

- 13.- Harley, J.L. and Smith, S.E. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic. Press, New. York.
- 14.- Hayman, D. S. (1982). *Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi*. En: Phytopathology. Vol. 72, No. 8. pp. 1119-1124.
- 15.- Harrison S. G., Masefield G. B. y Wallis M. (1980) *Guía de las plantas comestibles*. Omega, España. pp: 6-7 y 40-41
- 16.- INEGI, (1999). Anuario estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México. P. 8-458.
- 17.- Jackson M. L. (1982) *Análisis químico de suelos*. Omega, España. pp: 78, 294-300 y 329-33.
- 18.- Kormanik P. P. Y Mc Graw A. C. (1982) *Quantification of vesicular – arbuscular mycorrhizae in plant roots*. En methods and principles of mycorrhizal research, N. C. Schenck (ed), The Phytopathological society, Minnesota. Pp: 46-58
- 19.- Langer R. H. M. y Hill G. D. (1991) *Agricultural plants*. 2ª ed. Cambridge University Press, Gran Bretaña. pp.: 40-51 y 217-275
- 20.- Marschner H. (1986) *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Irlanda del Norte. pp: 465-476.
- 21.- Martínez G. M. (2004) *Efecto de la aplicación de compostas sobre la eficiencia de los hongos micorrízicos arbusculares nativos de un andisol del estado de México*. Tesis de maestría. Facultad de ciencias. UNAM.
- 22.- Miller M. H. (1974) *Effects of nitrogen on phosphorus absorption by plants*. In : E. D. Carson, (ed). The plant root and its environment. The University Press of Virginia.
- 23.- Miranda R. J. (2003). *Establecimiento y sobrevivencia de plantas de **Acacia schaffneri** inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de invernadero y campo*. FEZ. Zaragoza. UNAM.
- 24.- Moreno D. R. (1991). Clasificación del pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables. INIA-SARH. México, D.F.

- 25.-** Moreno M. E. 1990. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. UNAM. FAO. México, pp: 119-122, 202.
- 26.-** Montes, M. J. (1997). *Componentes de rendimiento y parámetros fisiológicos en 4 variedades de haba Vicia faba L.* Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México.
- 27.-** Moreno, M. T. y J. Cubero (1983). *Leguminosas de grano*. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- 28.-** Morton, J.B. and Bentivenga, S.P. 1994. Levels of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic group. *Plant. Soil.* 159: 47-60 pp.
- 29.-** Muciño, S. (1995). *Guía para cultivar haba en el estado de México*. icamex, Metepec, México.
- 30.-** Palmer R. G. (1997) *Introducción a la ciencia del suelo*. 2ª Edición. AGT Editor, México pp: 44-47
- 31.-** Pulido J. (1989) *Introducción a la edafología*. Manual de campo y laboratorio. Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp: 18-33
- 32.-** Quintero E. C. (2003) *Importancia del fósforo orgánico del suelo en la nutrición fosfatada de los cultivos*. Facultad de ciencias agropecuarias UNER. pp: 1 - 8
- 33.-** Reyes J. I. (1996) *Fundamentos teórico - prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo*. Parte 1. UAM Iztapalapa, México. pp:127, 138, 148, 184
- 34.-** Rojas A. J. D. (2003). *Efecto de inoculación de las MA sobre el rendimiento de maíz y haba aplicando composta y fertilización inorgánica*. Tesis de licenciatura. FEZ. Zaragoza. UNAM. P. 5-36
- 35.-** Rosales E. J. M., Cruz C. D., González P. R., (2001). *Evaluación de cinco genotipos de haba (Vicia faba L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México*. Revista ciencia. No. 12. pp: 57-74.
- 36.-** Ruiz B. A. Y Ortega T. E. (1979) *Prácticas de laboratorio de química de suelos*. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp: 54-70
- 37.-** Solórzano, V. E. (1993). *Colección y documentación del cultivo del haba en los valles altos de México*. Departamento de Fitotecnia, Chapingo, México.

38.- Tornero C. M. A., Contreras R. J. Y Peña O. B. V. (1993). *Tecnología agrícola para la producción de haba*. Región de llanos de Cerdan, Puebla 17 p.

39.- Trappe, J.M. 1987. Phylogenetic and ecological aspect of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In. "Ecophysiology of VA mycorrhizal Plant" (G. R. Safir, ed.), 5-26 pp. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA.

40.- Velasco M. H. A. (1983). *Uso y manejo del suelo*. Limusa, México. pp: 160-187.

41.- Werner. M. G. (1992). Symbiosis of plants and microbes. Chapman and Hall, Inglaterra. Pp. 299-323.

<http://hort.pardue.edu>

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

<http://www.ffp-csiro.au/research/micorrhiza>

<http://www.puc.cl/sw-educ/cultivos/legumino/haba.htm>

<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>

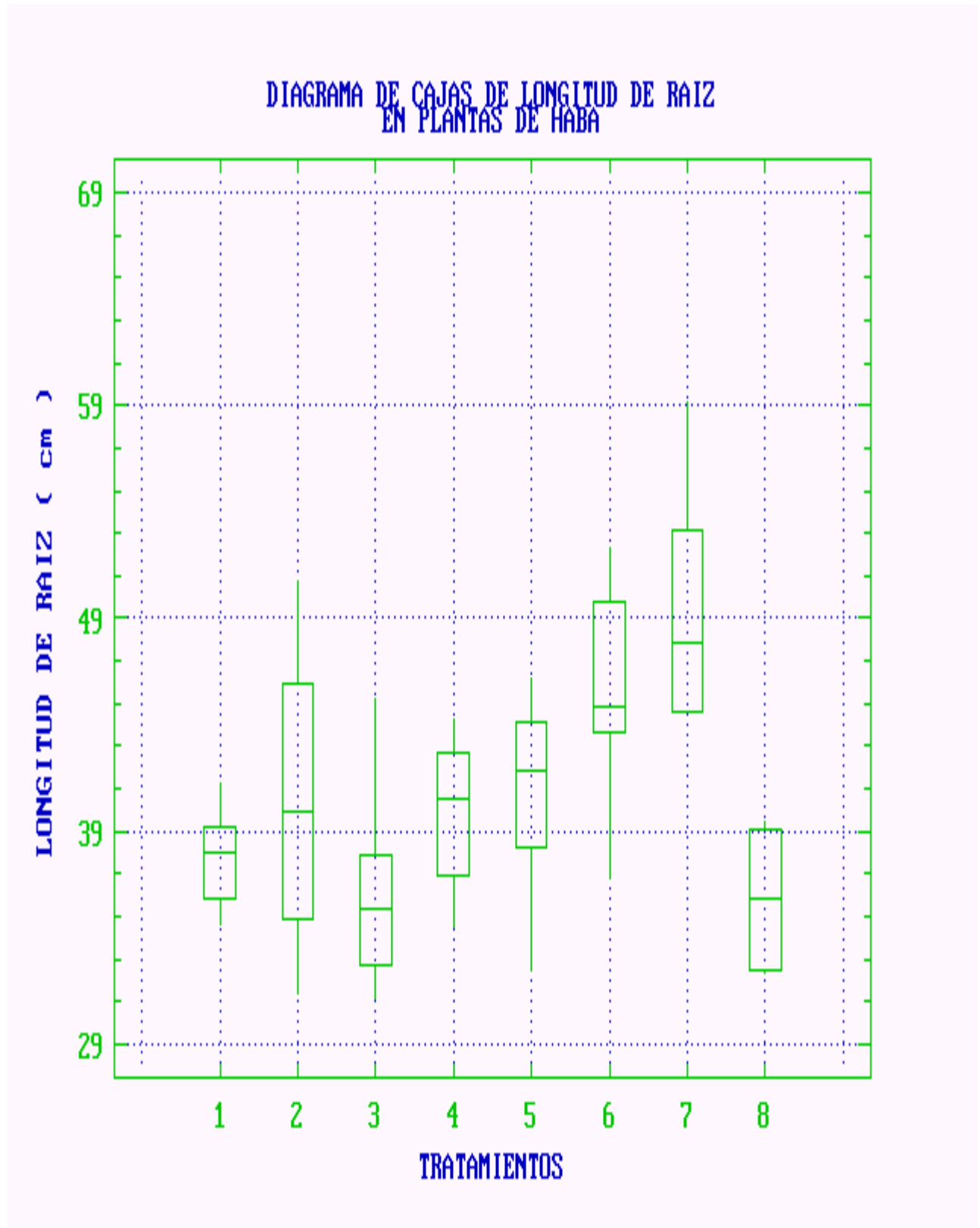
APÉNDICE

APÉNDICE

Análisis de rango múltiple para longitud de raíz, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
8 (M + FCA)	8	35.850000	X
3 (SM + FCM)	8	36.062500	X
1 (TA)	8	37.762500	X
4 (SM + FCA)	8	39.887500	XX
2 (SM + FCB)	8	40.475000	XX
5 (M)	8	40.628571	XX
6 (M + FCB)	8	45.900000	XX
7 (M + FCM)	8	49.657143	X

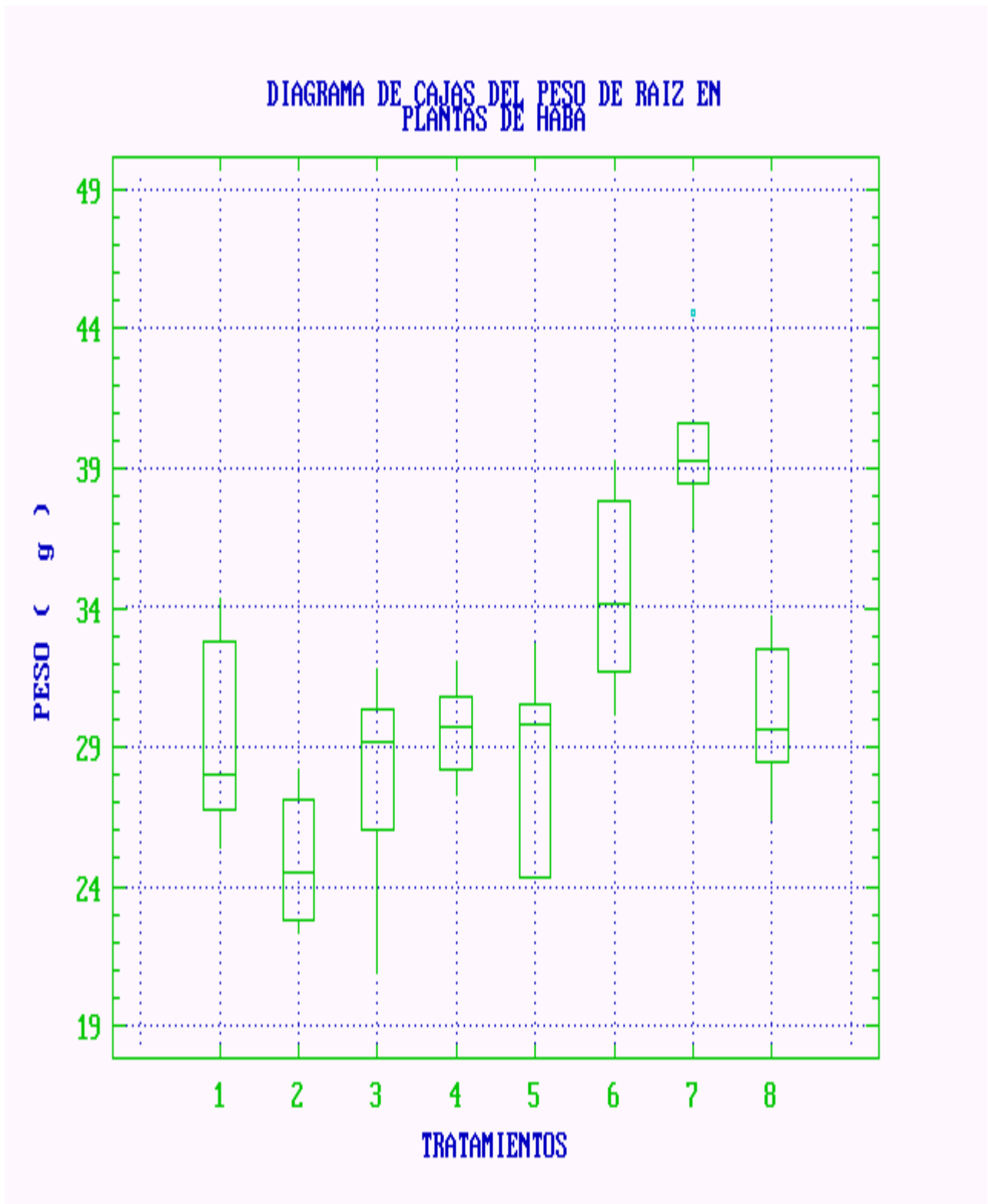
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	-2.71250	7.33775	
1-3	1.70000	7.33775	
1-4	-2.12500	7.33775	
1-5	-2.86607	7.59529	
1-6	-8.13750	7.59529	*
1-7	-11.8946	7.59529	*
1-8	1.91250	7.92568	
2-3	4.41250	7.92568	
2-4	0.58750	7.33775	
2-5	-0.15357	7.59529	
2-6	-5.42500	7.59529	
2-7	-9.18214	7.59529	
2-8	4.62500	7.92568	
3-4	-3.82500	7.33775	
3-5	-4.56607	7.59529	
3-6	-9.83750	7.59529	*
3-7	-13.5946	7.59529	*
3-8	-0.21250	7.92568	
4-5	-0.74107	7.59529	
4-6	-6.01250	7.59529	
4-7	-9.76964	7.59529	*
4-8	4.03750	7.92568	
5-6	-5.27143	7.84439	
5-7	-9.02857	7.84439	*
5-8	4.77857	8.16470	
6-7	-3.75714	7.84439	
6-8	10.0500	8.16470	*
7-8	13.8071	8.16470	*



Análisis de rango múltiple para peso de raíz, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
2 (SM + FCB)	8	24.900000	X
3 (SM + FCM)	8	28.000000	XX
5 (M)	8	28.114286	XX
1 (TA)	8	29.350000	XX
4 (SM + FCA)	8	29.612500	X
8 (M + FCA)	8	30.050000	XX
6 (M + FCB)	8	34.571429	X
7 (M + FCM)	8	39.757143	X

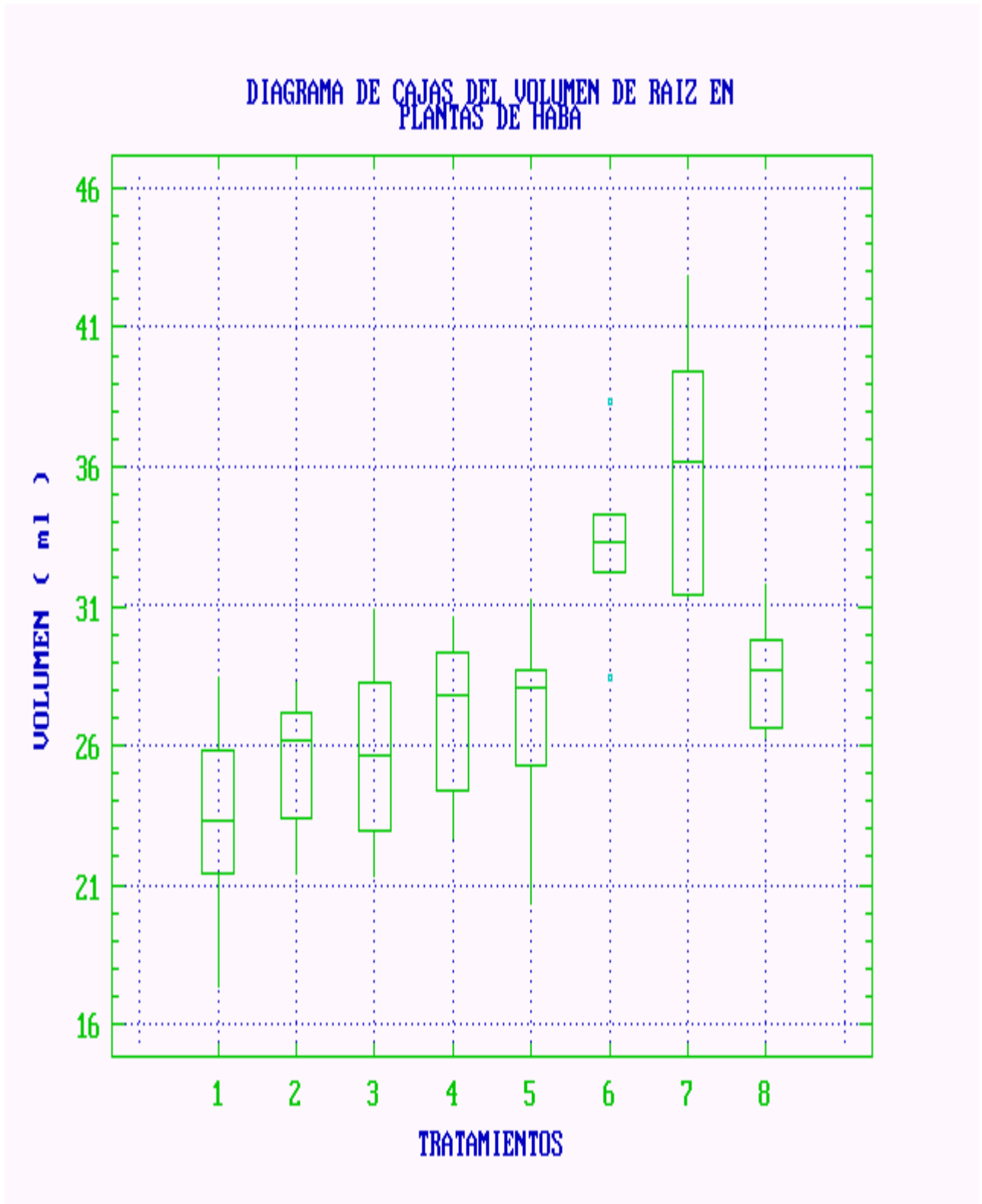
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	4.45000	4.69282	
1-3	1.35000	4.69282	
1-4	-0.26250	4.69282	
1-5	1.23571	4.85753	
1-6	-5.22143	4.85753	*
1-7	-10.4071	4.85753	*
1-8	0.70000	4.69282	
2-3	-3.10000	4.69282	
2-4	-4.71250	4.69282	*
2-5	-3.21429	4.85753	
2-6	-9.67143	4.85753	*
2-7	-14.8571	4.85753	*
2-8	-5.15000	5.06882	*
3-4	-1.61250	4.69282	
3-5	-0.11429	4.85753	
3-6	-6.57143	4.85753	*
3-7	-11.7571	4.85753	*
3-8	-2.05000	5.06882	
4-5	1.49821	4.85753	
4-6	-4.95893	4.85753	*
4-7	-10.1446	4.85753	*
4-8	-0.43750	5.06882	
5-6	-6.45714	5.01683	*
5-7	-11.6429	5.01683	*
5-8	-1.93571	5.22169	
6-7	-5.18571	5.01683	*
6-8	4.52143	5.22169	
7-8	9.70714	5.22169	*



Análisis de rango múltiple para volumen de raíz, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95 % y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
1 (TA)	8	23.350000	X
2 (SM + FCB)	8	25.375000	X
3 (SM + FCM)	8	25.737500	X
5 (M)	8	26.914286	X
4 (SM + FCA)	8	27.050000	X
8 (M + FCA)	8	28.666667	XX
6 (M + FCB)	8	33.285714	XX
7 (M + FCM)	8	35.942857	X

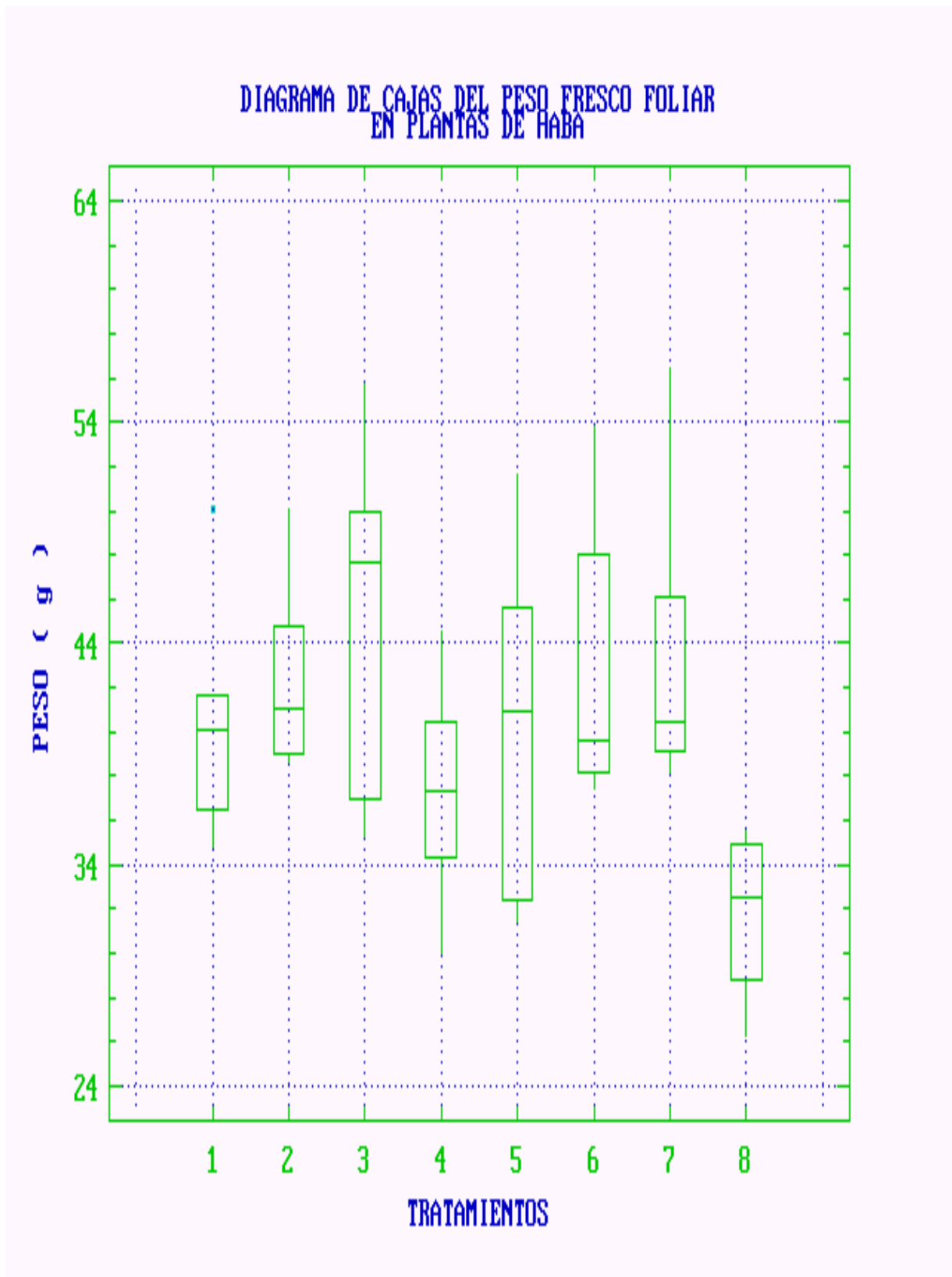
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	-2.02500	5.06499	
1-3	-2.38750	5.06499	
1-4	-3.70000	5.06499	
1-5	-3.56429	5.24276	*
1-6	-9.93571	5.24276	*
1-7	-12.5929	5.24276	
1-8	-5.31667	5.47082	
2-3	-0.36250	5.06499	
2-4	-1.67500	5.06499	
2-5	-1.53929	5.24276	
2-6	-7.91071	5.24276	*
2-7	-10.5679	5.24276	*
2-8	-3.29167	5.47082	
3-4	-1.31250	5.06499	
3-5	1.17679	5.24276	
3-6	-7.54821	5.24276	*
3-7	-10.2054	5.24276	*
3-8	-2.92917	5.47082	
4-5	0.13571	5.24276	
4-6	-6.23571	5.24276	*
4-7	-8.89286	5.24276	*
4-8	-1.61667	5.47082	
5-6	-6.37143	5.41470	*
5-7	-9.02857	5.41470	*
5-8	-1.75238	5.63580	
6-7	-2.65714	5.41470	
6-8	4.61905	5.63580	*
7-8	7.27619	5.63580	*



Análisis de rango múltiple para peso fresco foliar, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
8 (M + FCA)	8	31.750000	X
4 (SM + FCA)	8	37.350000	XX
1 (TA)	8	40.200000	XX
5 (M)	8	40.471429	XX
2 (SM + FCB)	8	42.312500	X
6 (M + FCB)	8	42.571429	X
7 (M + FCM)	8	42.885714	X
3 (SM + FCM)	8	45.037500	X

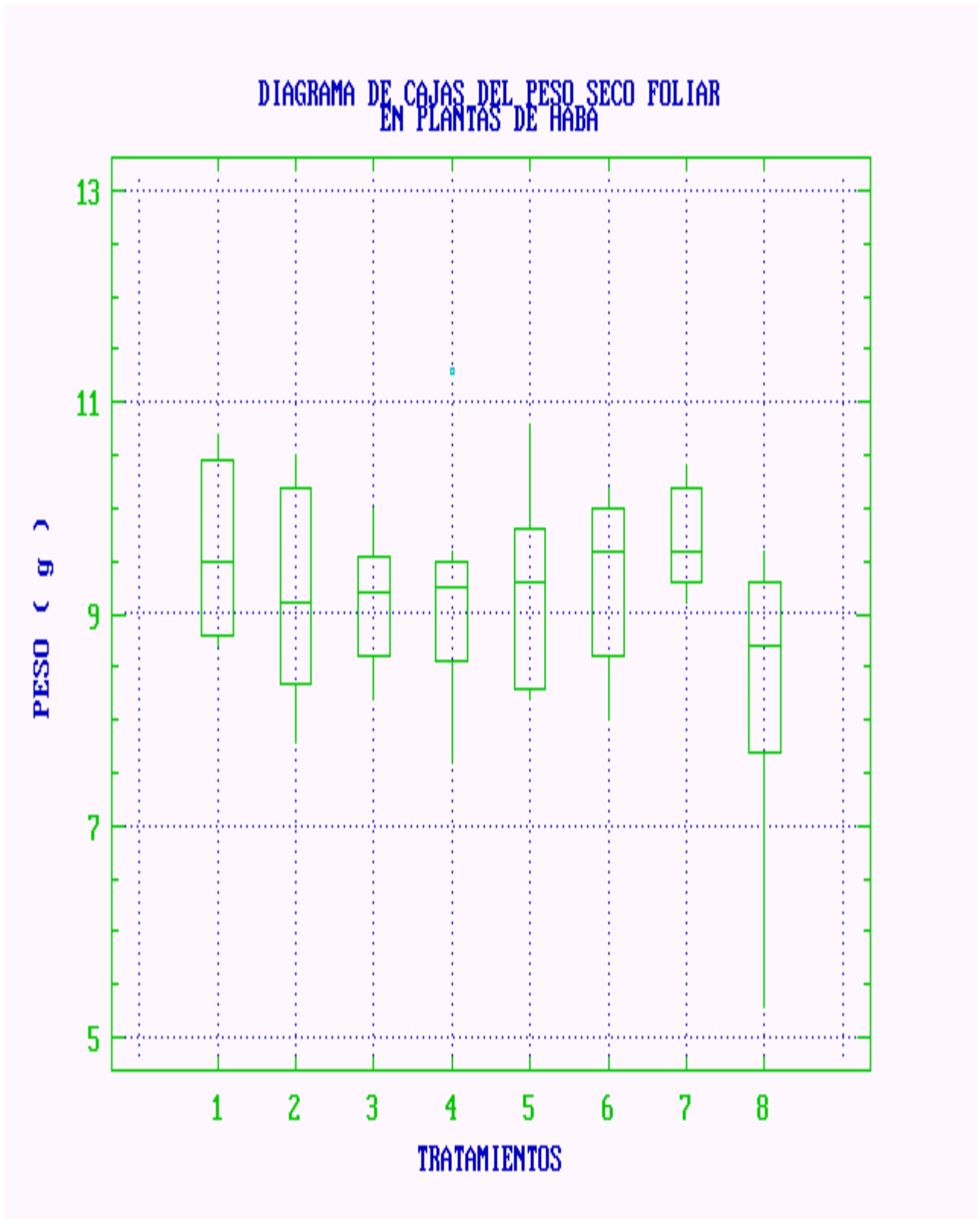
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	-2.11250	9.01817	
1-3	-4.83750	9.01817	
1-4	2.85000	9.01817	
1-5	-0.27143	9.33469	
1-6	-2.37143	9.33469	
1-7	-2.68571	9.33469	
1-8	8.45000	9.74073	
2-3	-2.72500	9.01817	
2-4	4.96250	9.01817	
2-5	1.84107	9.33469	
2-6	-0.25893	9.33469	
2-7	-0.57321	9.33469	
2-8	10.5625	9.74073	*
3-4	7.68750	9.01817	
3-5	4.56607	9.33469	
3-6	2.46607	9.33469	
3-7	2.15179	9.33469	
3-8	13.2875	9.74073	*
4-5	-3.12143	9.33469	
4-6	-5.22143	9.33469	
4-7	-5.53571	9.33469	
4-8	5.60000	9.74073	
5-6	-2.10000	9.64083	
5-7	-2.41429	9.64083	
5-8	8.72143	10.0345	
6-7	-0.31429	9.64083	
6-8	10.8214	10.0345	*
7-8	11.1357	10.0345	*



Análisis de rango múltiple para peso seco foliar, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
8 (M + FCA)	8	8.2166667	X
3 (SM + FCM)	8	9.1125000	X
4 (SM + FCA)	8	9.1875000	X
2 (SM + FCB)	8	9.2000000	X
5 (M)	8	9.3000000	X
6 (M + FCB)	8	9.3428571	X
1 (TA)	8	9.6125000	X
7 (M + FCM)	8	9.6714286	X

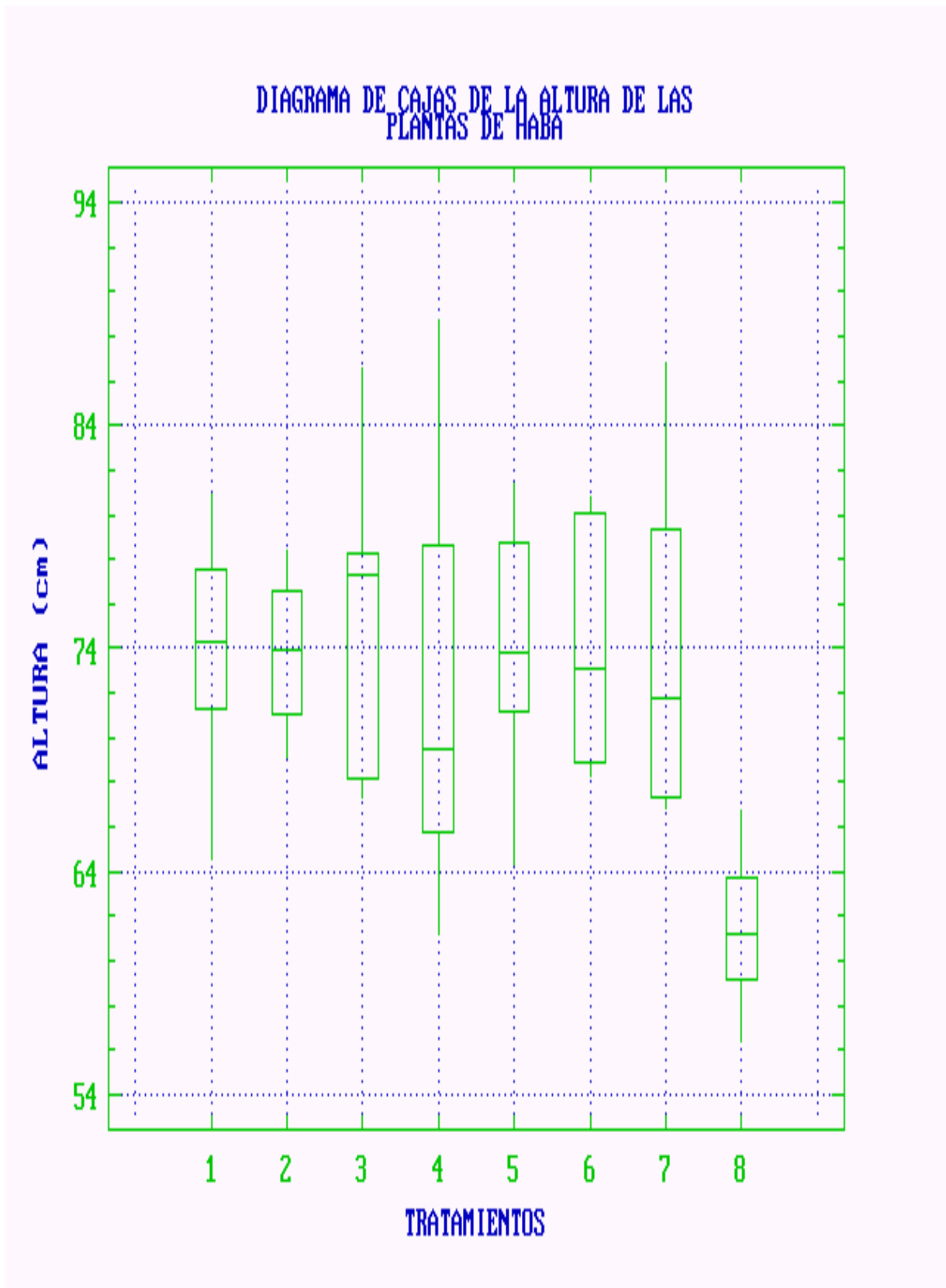
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	0.41250	1.49097	
1-3	0.50000	1.49097	
1-4	0.42500	1.49097	
1-5	0.31250	1.54330	
1-6	0.26964	1.54330	
1-7	-0.05893	1.54330	
1-8	1.39583	1.61043	
2-3	0.08750	1.49097	
2-4	0.01250	1.49097	
2-5	-0.10000	1.54330	
2-6	-0.14286	1.54330	
2-7	-0.47143	1.54330	
2-8	0.98333	1.61043	
3-4	-0.07500	1.49097	
3-5	-0.18750	1.54330	
3-6	-0.23036	1.54330	
3-7	-0.55893	1.54330	
3-8	0.89583	1.61043	
4-5	-0.11250	1.54330	
4-6	-0.15536	1.54330	
4-7	-0.48393	1.54330	
4-8	0.97083	1.61043	
5-6	-0.04286	1.59392	
5-7	-0.37143	1.59392	
5-8	1.08333	1.65900	
6-7	-0.32857	1.59392	
6-8	1.12619	1.65900	
7-8	1.45476	1.65900	



Análisis de rango múltiple para altura foliar, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
8 (M + FCA)	8	61.400000	X
4 (SM + FCA)	8	72.212500	X
7 (M + FCM)	8	73.414286	X
5 (M)	8	73.814286	X
2 (SM + FCB)	8	73.850000	X
1 (TA)	8	74.950000	X
6 (M + FCB)	8	74.214286	X
3 (SM + FCM)	8	75.150000	X

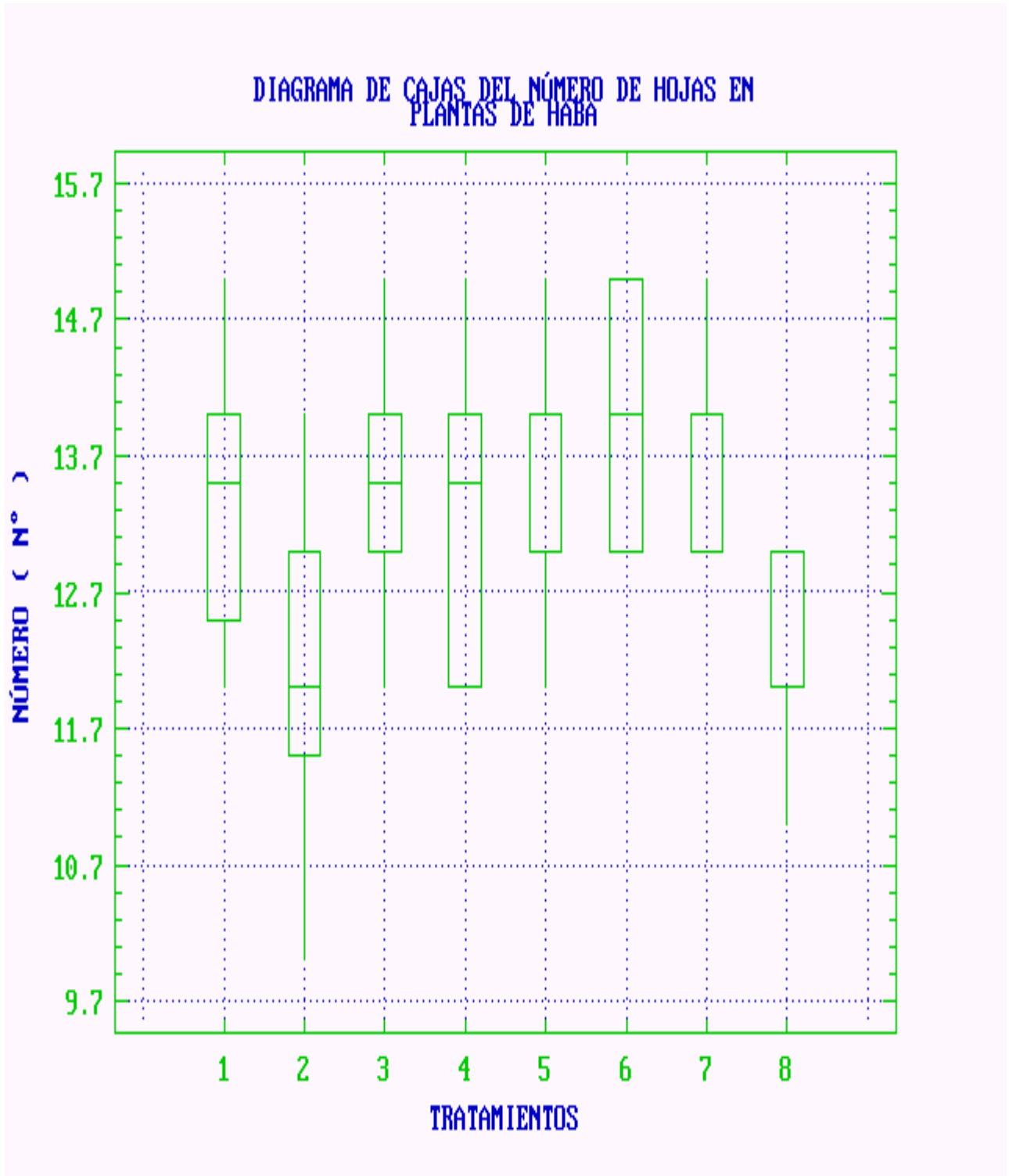
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	0.10000	9.82998	
1-3	-1.20000	9.82998	
1-4	1.73750	9.82998	
1-5	0.13571	10.1750	
1-6	-0.26429	10.1750	
1-7	0.53571	10.1750	
1-8	12.5500	10.6176	*
2-3	-1.30000	9.82998	
2-4	1.63750	9.82998	
2-5	0.03571	10.1750	
2-6	-0.36429	10.1750	
2-7	0.43571	10.1750	
2-8	12.4500	10.6176	*
3-4	2.93750	9.82998	
3-5	1.33571	10.1750	
3-6	0.93571	10.1750	
3-7	1.73571	10.1750	
3-8	13.7500	10.6176	*
4-5	-1.60179	10.1750	
4-6	-2.00179	10.1750	
4-7	-1.20179	10.1750	
4-8	10.8125	10.6176	*
5-6	-0.40000	10.5087	
5-7	0.40000	10.5087	
5-8	12.4143	10.9378	*
6-7	0.80000	10.5087	
6-8	12.8143	10.9378	*
7-8	12.0143	10.9378	*



Análisis de rango múltiple para número de hojas, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
2 (SM + FCB)	8	12.125000	X
8 (M + FCA)	8	12.166667	XX
4 (SM + FCA)	8	13.250000	XX
1 (TA)	8	13.375000	XX
5 (M)	8	13.428571	XX
3 (SM + FCM)	8	13.500000	XX
7 (M + FCM)	8	13.714286	XX
6 (M + FCB)	8	13.857143	X

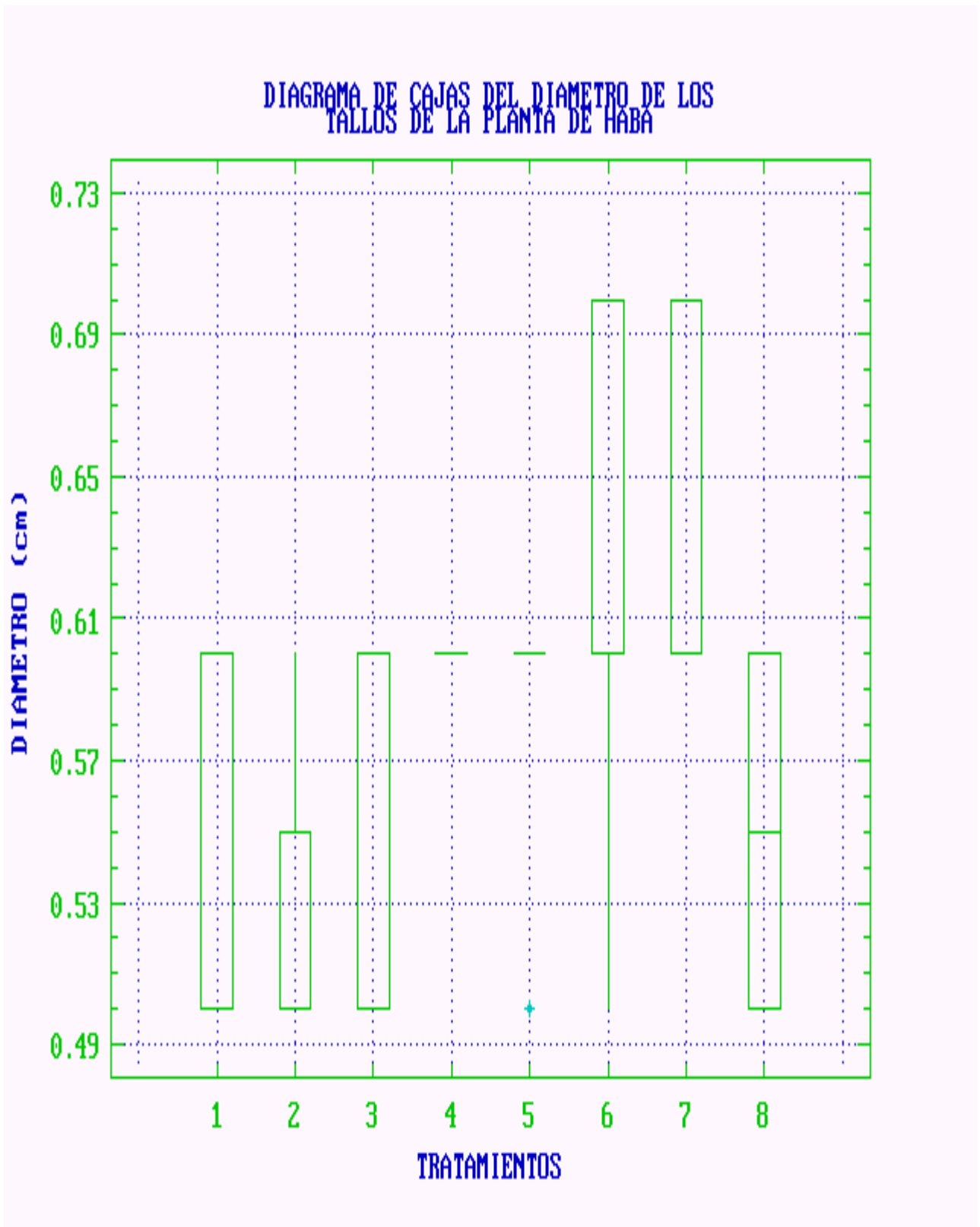
Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	1.25000	1.58144	
1-3	-0.12500	1.58144	
1-4	0.12500	1.58144	
1-5	-0.05357	1.63694	
1-6	-0.48214	1.63694	
1-7	-0.33929	1.63694	
1-8	1.20833	1.70815	
2-3	-1.37500	1.58144	
2-4	-1.12500	1.58144	
2-5	-1.30357	1.63694	
2-6	-1.73214	1.63694	*
2-7	-1.58929	1.63694	
2-8	-0.04167	1.70815	
3-4	0.25000	1.58144	
3-5	0.07143	1.63694	
3-6	-0.35714	1.63694	
3-7	-0.21429	1.63694	
3-8	1.33333	1.70815	
4-5	-0.17857	1.63694	
4-6	-0.60714	1.63694	
4-7	-0.46429	1.63694	
4-8	1.08333	1.70815	
5-6	-0.42857	1.69063	
5-7	-0.28571	1.69063	
5-8	1.26190	1.75966	
6-7	0.14286	1.69063	
6-8	1.69048	1.75966	
7-8	1.54762	1.75966	



Análisis de rango múltiple para diámetro de tallo, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
2 (SM + FCB)	8	0.5250000	X
1 (TA)	8	0.5375000	XX
8 (M + FCA)	8	0.5500000	XXX
3 (SM + FCM)	8	0.5625000	XXX
5 (M)	8	0.5857143	XXX
4 (SM + FCA)	8	0.6000000	XXX
6 (M + FCB)	8	0.61422857	XX
7 (M + FCM)	8	0.6285714	X

Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	0.01250	0.07631	
1-3	-0.02500	0.07631	
1-4	-0.06250	0.07631	
1-5	-0.04821	0.07898	
1-6	-0.07679	0.07898	
1-7	-0.09107	0.07898	*
1-8	-0.01250	0.08242	
2-3	-0.03750	0.07631	
2-4	-0.07500	0.07631	
2-5	-0.06071	0.07898	
2-6	-0.08929	0.07898	*
2-7	-0.10357	0.07898	*
2-8	-0.02500	0.08242	
3-4	-0.3750	0.07631	
3-5	-0.02321	0.07898	
3-6	-0.05179	0.07898	
3-7	-0.06607	0.07898	
3-8	0.01250	0.08242	
4-5	0.01429	0.07898	
4-6	-0.01429	0.07898	
4-7	-0.02857	0.07898	
4-8	0.05000	0.08242	
5-6	-0.62857	0.08157	
5-7	-0.04286	0.08157	
5-8	0.03571	0.08490	
6-7	-0.01429	0.08157	
6-8	0.06429	0.08490	
7-8	0.07857	0.08490	



Análisis de rango múltiple para número de tallos, mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$

Tratamientos	Repeticiones	Medias	Grupos homogéneos
8 (M + FCA)	8	4.500000	X
6 (M + FCB)	8	5.428571	X
2 (SM + FCB)	8	5.050000	X
4 (SM + FCA)	8	5.625000	X
3 (SM + FCM)	8	5.875000	X
5 (M)	8	6.000000	X
1 (TA)	8	6.128571	X
7 (M + FCM)	8	7.000000	X

Contraste	Diferencia	+ / - límites	Diferencias significativas
1-2	6.50000	10.3160	
1-3	6.12500	10.3160	
1-4	6.37500	10.3160	
1-5	6.00000	10.6780	
1-6	6.57143	10.6780	
1-7	5.57143	10.6780	
1-8	7.50000	11.1425	
2-3	-0.37500	10.3160	
2-4	-0.12500	10.3160	
2-5	-0.50000	10.6780	
2-6	0.07143	10.6780	
2-7	-0.92857	10.6780	
2-8	1.00000	11.1425	
3-4	0.25000	10.3160	
3-5	-0.12500	10.6780	
3-6	0.44643	10.6780	
3-7	-0.55357	10.6780	
3-8	1.37500	11.1425	
4-5	-0.37500	10.6780	
4-6	0.19643	10.6780	
4-7	-0.80357	10.6780	
4-8	1.12500	11.1425	
5-6	0.57143	11.0282	
5-7	-0.42857	11.0282	
5-8	1.50000	11.4786	
6-7	-1.00000	11.0282	
6-8	0.92857	11.4786	
7-8	1.92857	11.4786	

