



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE BIOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“Efecto del nitrógeno sobre el desarrollo del
cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en
asociación con un hongo micorrízico arbuscular
(*Glomus intraradices*)**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS
en Conservación y Manejo de Recursos Naturales**

**PRESENTA
RITA RUIZ CORRO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. RAÚL CÁRDENAS NAVARRO**

Morelia, Michoacán, Febrero del 2008



**FACULTAD
DE
BIOLOGÍA**

INDICE GENERAL

	PAG.
I RESUMEN	9
II SUMMARY	11
III INTRODUCCIÓN	12
IV. MARCO TEORICO.....	16
4 La fresa (<i>Fragaria x annanassa</i> . Duch.).....	16
4.1 Origen.....	16
4.1.1 Descripción Botánica.....	16
4.1.2 Taxonomía.....	18
4.2 Nitrógeno.....	18
4.2.1 Características generales.....	18
4.2.2 Nitrógeno-Planta.....	19
4.2.3 Formas de nitrógeno absorbidas.....	19
4.3 Las Micorrizas	20
4.3.1 Aspectos generales de las micorrizas	20
4.3.2 Tipos de micorrizas	21
4.3.3 Taxonomía de micorrizas arbusculares.....	21
4.3.4 Descripción de <i>Glomus intraradices</i> . (Schenck y Smith, 1982).....	22
4.3.5 Contribución de las micorrizas a las plantas.	22
V. ANTECEDENTES	24
VI. JUSTIFICACIÓN.	26
VII. HIPÓTESIS	27
VIII. OBJETIVOS	28
8.1 General.....	28
8.2 Particulares.....	28
IX. MATERIALES Y METODOS GENERALES.....	29
9.1 Material biológico	29
9.2 Condiciones de establecimiento.....	29
9.3 Inoculación micorrizica y verificación de la micorrización.....	30

9.4 Tratamientos	30
9.5 Medición de variables.....	31
X RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
CAPITULO I	33
Evaluación de la contribución de <i>Glomus intraradices</i> sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas a 1.0 y 8.0 mM de nitrógeno.	33
i. Resumen	33
ii. Abstract	34
iii. Resultados y discusión.....	35
a. Porcentaje de Colonización.....	35
b. Peso fresco de la parte aérea.	36
c. Área foliar.	38
d. Asimilación de CO ₂	39
e. Contenido de nitrógeno en hojas.....	41
f. Contenido de nitrógeno en corona.	42
g. Contenido de nitrógeno en raíz.	44
h. Producción de frutos.	46
iv. Conclusiones	48
CAPITULO II	49
Evaluación de la contribución de <i>Glomus intraradices</i> sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas con las siguientes proporciones de las formas NH ₄ ⁺ -NO ₃ ⁻ : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1.	49
i. Resumen	49
ii. Abstract.	49
iii. Resultados y discusión.....	50
a. Porcentaje de colonización.....	50
b. Materia fresca de la parte aérea.....	51
c. Área foliar.	53
d. Asimilación de CO ₂	55
e. Contenido de nitrógeno en hoja.	57
f. Contenido de nitrógeno en corona.	59

g.	Contenido de nitrógeno en raíz.	60
h.	Producción de frutos.	62
iv.	Conclusiones.	64
CAPITULO III		65
Evaluación de la contribución de <i>Glomus intraradices</i> , concentración 1.0 y 8.0 mM y de las formas NH_4^+ - NO_3^- : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1 de nitrógeno sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa.		65
i.	Resumen	65
ii.	Abstract	66
iii.	Resultados y discusión.	67
a.	Porcentaje de Colonización.	67
b.	Materia fresca de parte aérea.	68
c.	Área foliar.	70
d.	Asimilación de CO_2	72
e.	Contenido de nitrógeno en hoja.	73
f.	Contenido de nitrógeno en corona.	74
g.	Contenido de nitrógeno en raíz.	76
h.	Producción de frutos.	77
iv.	Conclusiones.	79
XI	CONCLUSIONES GENERALES.	80
XIII	LITERATURA CITADA.	82

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1 Estructuras de la planta de fresa.	17
Figura 2 Plantas de fresa en etapa de fructificación.	17
Figura 3 Árbol filogenético de <i>Glomus</i>	21
Figura 4 Vesículas de <i>G. intraradices</i> en raíces de plantas de fresa en etapa de floración. a y b microscopio 40X y c estereoscopio 10X	22
Figura 5 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego: Sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 217 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.	36
Figura 6 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre la acumulación de materia fresca en la parte aérea de plantas de fresa 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	37
Figura 7 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	39
Figura 8 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO ₂ en de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	40
Figura 9 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de hoja de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	42
Figura 10 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de corona de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	44
Figura 11 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de raíz de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	45

Figura 12 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la concentración del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en de plantas de fresa durante la etapa de fructificación.....	47
Figura 13 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 217 ddp.....	51
Figura 14 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de materia fresca de parte aérea en plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).....	53
Figura 15 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	55
Figura 16 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO ₂ de las plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	57
Figura 17 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la hoja de plantas de fresa a los 267 ddp.	58
Figura 18 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la corona de plantas de fresa a los 267 ddp.	60
Figura 19 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la raíz de plantas de fresa a los 267 ddp.....	61
Figura 20 Efecto de la inoculación con <i>G. intraradices</i> y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en de plantas de fresa durante la etapa de fructificación.	62
Figura 21 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 147 ddp.	68

Figura 22 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de materia fresca de parte aérea en plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	70
Figura 23 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	71
Figura 24 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO ₂ de las plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B).	72
Figura 25 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la hoja de plantas de fresa a los 267 ddp.	74
Figura 26 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la corona de plantas de fresa a los 267 ddp.	75
Figura 27 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la raíz de plantas de fresa a los 267 ddp	77
Figura 28 Efecto de la presencia de <i>G. intraradices</i> , de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en plantas de fresa durante la etapa de fructificación.....	78

INDICE DE ANEXOS

	PAG.
Anexo 1 Tratamientos y combinación de los factores evaluados.....	90
Anexo 2 Tratamientos de fertilización evaluados.....	90

I RESUMEN

En el presente trabajo se estudio el efecto que tiene un hongo Glomeromycota (*Glomus intraradices*) sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas en un sistema hidropónico y fertilizadas con diferentes concentraciones y proporciones de las formas de nitrógeno (N), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Las plantas inoculadas con *Glomus intraradices* fueron establecidas en bolsas de polietileno negro dentro de un invernadero de cristal automatizado. Para su fertilización se utilizaron 16 tratamientos considerando, dos concentraciones de N (1 mM y 8 mM) y cuatro proporciones de sus formas amonio-nitrato ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$: 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1), en la solución de riego. Se realizaron 2 muestreos, el primero a los 147 días después de la plantación (ddp) durante la floración y el segundo al finalizar la fructificación 267 ddp. Se evaluó la producción de materia fresca de la parte aérea, el área foliar, la actividad fotosintética, la producción de frutos y el contenido de N en diferentes órganos. Así mismo, se estimó la colonización del hongo. Los resultados mostraron que a los 147 ddp las plantas no inoculadas muestran un incremento de la materia fresca de parte aérea, área foliar, actividad fotosintética y porcentaje de N de la parte aérea, en comparación con las plantas de fresa inoculadas. Al considerar estas variables, además de la producción de frutos y la colonización de las raíces por el hongo a los 267 ddp se observó que son las plantas inoculadas quienes muestran un incremento de las variables analizadas.

Al analizar el efecto simple de la concentración de N en la solución de riego, se observa que con la concentración 8 mM de N hay mayor desarrollo de la planta, mientras que con el tratamiento 1 mM de N el hongo colonizó eficientemente la raíz y produjo mayor cantidad de frutos.

La proporción de las formas $\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$ de N en la solución de riego, establece diferencias estadísticamente significativas sobre la colonización, el crecimiento y la producción de frutos, siendo la forma NO_3^- como fuente de N, la que produjo un

mayor establecimiento del hongo micorrízico, crecimiento en biomasa y producción de la planta de fresa.

En cuanto a la interacción de segundo orden, tomando en cuenta los factores de inoculación, concentración y forma de N, no establecieron diferencias en el desarrollo y producción de las plantas de fresa, sin embargo la interacción de primer orden entre 1 mM de N y NO_3^- como fuente de N, produjo mayor establecimiento del hongo, mientras que, 8 mM de N y NH_4^+ como fuente de N, disminuyó la producción de frutos.

Estos resultados sugieren que con 1 mM de N y NO_3^- como fuente de N el hongo micorrízico tiene mejor establecimiento, mientras que con 8 mM de N y NO_3^- como fuente de N favorece el crecimiento de la planta de fresa. Y que el tratamiento 1 mM de N, NO_3^- como fuente de N y la presencia del hongo produce mayor cantidad de frutos.

Palabras clave: micorriza, fertilización nitrogenada, fresa.

II SUMMARY

In this paper, the impact of a fungus Glomeromycota (*Glomus intraradices*) on growth and fruit production of plants of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) was studied. Plants were grown in a hydroponic system and fertilized with two concentrations of nitrogen (N) and four proportions of its forms: nitrate (NO_3^-) ammonium (NH_4^+). Plants inoculated with *Glomus intraradices* were established in black polythene bags within an automated greenhouse glasshouse. For its fertilization, 16 treatments were considered and these included two concentrations of N (1 mM and 8 mM) and four proportions of its forms ammonium-nitrate ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$: 0-4, 1-3, 2-2 and 3-1). Plants were harvested during flowering and fruiting stages; 147 and 267 days after planting (ddp), respectively. Shoot fresh weight, leaf area, photosynthetic rate, fruit production, N content and colonization of the fungus were evaluated.

At 147 ddp, the non-inoculated plants showed an increase in the shoot fresh weight, leaf area, photosynthesis and N content, as compared to inoculated plants. At 267 ddp, the inoculated plants, however, showed a significant increase on the above variables, as well as fruit production and root colonization. In analyzing the effect of simple concentration of N in solving irrigation, it was observed that the concentration 8 mM N promotes a higher plant growth. In contrast, 1 mM N favors a higher root colonization and fruit production.

$\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$ N forms in irrigation solution, promoted significant differences on root colonization, fruit production and plant growth. NO_3^- form as N source favored a great fungus establishment, growth plant and fruit production. Although there was not a significant interaction among inoculation, concentration and N source 1 mM of N level and NO_3^- source, produced a larger fungus establishment whereas 8 mM N level and NH_4^+ source limited fruit production.

Keywords: mycorrhizal, nitrogen fertilization, strawberry.

III INTRODUCCIÓN

El fruto de fresa es muy apreciado a nivel mundial. México es considerado el sexto productor reportando el 5% de la producción mundial (INCA 2004). En nuestro país presenta características de buena calidad, razón por lo que existe una importante demanda en el mercado norteamericano, colocando a México en el quinto lugar entre los países con el mayor monto de exportación en el mundo. La fresa se cultiva en 12 estados de la República Mexicana, de los cuales Guanajuato, Baja California y Michoacán contribuyen con el 95% del volumen total de producción. Guanajuato participa con el 37% de la superficie sembrada y el 27% de producción nacional. Baja California es la región productora más joven, su superficie sembrada es del 6% y su producción del 15%. Por su parte Michoacán produce más del 50% de la superficie sembrada y cosechada. Dentro de la entidad destacan tres regiones: Valle de Zamora, Panindícuaro y Valle de Maravatío. De la región última destaca el municipio de Tungareo, que destina 850 hectáreas para su cultivo, produciendo 12 mil toneladas anuales.

El cultivo de fresa es importante económicamente, debido a la generación de empleos e inversión en su producción, es considerado un cultivo costoso, pero también el más rentable (SAGARPA 2005). En Michoacán la planta de fresa ocupa una superficie de 3 000 hectáreas anualmente (INEGI 2002) generando 1.5 millones de jornales en el campo, además de la derrama económica asociada a la transformación del producto en la agroindustria (DDR-88 Zamora 2004). Sin embargo, demanda una gran cantidad de insumos agrícolas, lo cual reduce el beneficio económico neto de los productores.

Entre los insumos más utilizados se encuentran los fertilizantes nitrogenados, debido a que el N es el elemento mineral más abundante en el tejido de las plantas Bonomelli (2005) estimó que las plantas contienen un promedio de 1.8 - 2.8% en N de su peso seco, lo cual refleja la importancia de los compuestos nitrogenados en la estructura y metabolismo de la planta.

Los fertilizantes nitrogenados superan el 20% del costo de producción, esto sin considerar los gastos asociados a la cosecha. En la región de Zamora (principal región de producción en Michoacán), la recomendación técnica para el cultivo de fresa es la aplicación de 240 Kilogramos (Kg) de N por hectárea (N/ha), sin embargo la mayoría de los productores aporta cantidades superiores a los 600 Kg de N/ha (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004). El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados es una práctica común en la mayor parte de las regiones de producción de fresa en México. Esto es consecuencia de la idea de asociar incremento en la producción con el incremento en los aportes de N y del desconocimiento de las necesidades de este elemento por las plantas durante su ciclo de desarrollo, lo que ocasiona contaminación ambiental y disturbios fisiológicos en la planta, reduciendo el rendimiento y calidad del fruto (Ojeda-Real *et al.*, 2006).

Es importante considerar que el rendimiento final de los cultivos no es producto únicamente de la disponibilidad de N en el suelo, sino también de factores ambientales como: temperatura, luz, humedad relativa, etc. La variación de estos factores en lugar y tiempo determinan la producción de frutos, por lo que es conveniente monitorear la disponibilidad de N en el suelo y su contenido en el cultivo en función de la etapa fenológica (Cárdenas-Navarro *et al.* op cit).

El N es considerado como un factor limitante para la producción de biomasa en ecosistemas naturales, es el principal elemento esencial asociado al crecimiento de la planta (Miller 2004). En el suelo se presenta como iones de NH_4^+ y NO_3^- , formas que son capaces de absorber la mayoría de las plantas (Srivastava 1999; Schortemeyer 1993; Tischner 2000). El ion NO_3^- es de alta movilidad; su asimilación requiere de mayor gasto de energía que la asimilación de NH_4^+ , sin embargo, la forma NO_3^- es la fuente de N en la mayoría de las tierras de cultivo (Schortemeyer 1993).

Una alternativa viable en la solución del problema a la baja disponibilidad de nutrimentos en el suelo, es el uso de las micorrizas (Mena 2001). Dentro de los hongos formadores de micorrizas existen dos tipos morfológicos (basados en la penetración del hongo entre las células corticales de la raíz de la planta): 1)

endomycorrizas que penetran la pared celular y 2) ectomicorrizas que no penetran la pared celular (Allen 1991). Las endomicorrizas o micorrizas vesículo-arbusculares (HMA) se encuentra en la mayoría de las especies herbáceas y algunas leñosas (Newman 1988).

Se ha observado que el efecto más importante que producen las micorrizas en las plantas es un incremento en la absorción de elementos minerales, que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las mismas. La expansión del micelio externo del hongo en el suelo es la causa principal de este efecto, permitiendo la absorción de los nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces por la propia absorción de la planta (Hernández 1999).

La micorriza es la asociación entre raíces de plantas superiores y ciertos grupos de hongos del suelo, los cuales dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y nicho ecológico, a la vez entregan nutrientes minerales poco móviles a la planta (Blanco 1997).

La asociación micorrizica regula los flujos de energía y de elementos en ecosistemas terrestres; las hifas del hongo son consideradas eficientes en la exploración de un mayor volumen de suelo en busca de nutrientes y agua. Los nutrientes adquiridos por las hifas raramente son transportados y transferidos a la planta hospedera en la forma encontrada. El NO_3^- puede ser transportado directamente, sin embargo, el NH_4^+ no puede ser transportado por el hongo debido a su alta toxicidad, por lo que es convertido en glutamina para ser movilizado a través del tejido del hongo y transferido a la planta (Allen 2003) o asimilado como arginina y transferido al micelio intraradical, posteriormente llega a la planta hospedera como amonio (Govindarajulu 2005). Estudios realizados por Claquet *et al.*, (1993) determinan que la asociación entre hongos y plantas de maíz, incrementa la asimilación de amonio, producción de glutamina y transporte de N en el xilema. La micorriza favorece la aparición temprana y el incremento en el número de estolones así como plantas hijas de fresa (Alarcón 2000; Niemi 1992), confiere resistencia

contra patógenos e incrementa la producción de frutos (Bull 2005) y estimula el crecimiento vegetal (Chávez 1990).

Sin embargo, muy poco o nada se sabe sobre el efecto que tienen los hongos micorrizicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de plantas de fresa en estado productivo, en función de la disponibilidad de N en el medio radical, por lo que en este trabajo se analizó la contribución de *Glomus intraradices* sobre el desarrollo de plantas de fresa cultivadas en disponibilidad alta y baja de N y en cuatro diferentes proporciones de las formas NH_4^+ y NO_3^- .

IV. MARCO TEORICO

4 La fresa (*Fragaria x annanassa*. Duch.)

4.1 Origen

Los primeros registros de la planta de fresa se reportan en 1714 en la ahora república de Chile la cual dio origen a la fresa cultivada de la región. Al ser llevadas a Francia en 1750, esta especie (*F. chiloensis*) y la norteamericana (*F. virginiana*), dan origen a la moderna fresa y es dada a conocer por Miller en 1759 y Duchesne en 1766 como *Fragaria x ananassa* Duch. Al ser cultivada en todo el mundo, estimuló a fitomejoradores de Inglaterra, Francia y América a inter cruzar plantas obteniendo una gran cantidad de variedades. La planta de fresa llegó a Jalisco desde España en 1928, traída y cultivada por un religioso, posteriormente personas de Zamora y Jacona dedicadas al comercio la llevaron al valle en 1954. Se hicieron las primeras plantaciones con la variedad "Klondike" a la que llamaron fresa corriente, en 1960 se trajo de Estados Unidos (EU) "Florida 90" denominada fresa fina (Fundación Produce Mich. 2004).

4.1.1 Descripción Botánica

La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne. El sistema radical es fasciculado, la profundidad de este es variable y depende entre otros factores del tipo de suelo y de la presencia de patógenos en el mismo. En condiciones óptimas pueden alcanzar los 40 cm. de profundidad, encontrándose la mayor parte (90%) en los primeros 25 cm. (Gutiérrez 1992).

Se denomina corona al tallo arrocetado de la planta de fresa, está constituido por un eje corto de forma cónica en el que se observan numerosas escamas foliares. Este es un órgano de almacenamiento de reservas sobre todo carbonadas (Brazanti 1989). Las hojas aparecen en roseta y se insertan en la corona (Fig. 1b), son largamente pecioladas y provistas de dos estípulas rojizas. Su limbo está dividido en tres foliolos de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300-400 /mm²), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración. Una planta con 10 hojas en un día caluroso puede transpirar medio litro de agua (Maroto 1986).

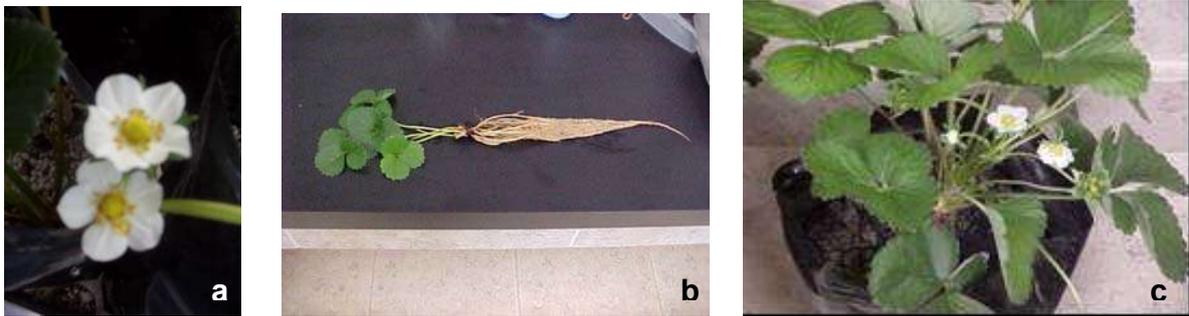


Figura 1 Estructuras de la planta de fresa.
Fotos propias tomadas el 10 de marzo 2006.

Las inflorescencias están dispuestas en un corimbo, con pedúnculos pilosos, se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La flor es hermafrodita, tiene 5-6 pétalos blancos, de 20 a 35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo convexo carnososo (Fig. 1a). Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de tipo aquenio, distribuido sobre la superficie del receptáculo carnososo. Los aquenios estimulan el crecimiento y la coloración del receptáculo, dando lugar al “fruto” de la fresa (Fig. 2) (Brazantí 1989).



Figura 2 Plantas de fresa en etapa de fructificación.
Fotos propias tomadas el 10 de marzo 2006.

La forma de reproducción puede ser sexual, a partir del fruto seco llamado “aquenio” utilizado generalmente en procesos de mejoramiento genético para obtener plantas procedentes de hibridaciones, lo cual dejó de ser útil en el campo, debido a que se obtienen plantas con características diversas y generalmente distintas a las de la planta madre. Otra forma es la asexual, mediante la división de corona, cultivo de ápices *in vitro* (cultivo de meristemos) y por estolones, esta última considerada la forma más efectiva de propagación (Branzanti 1989).

4.1.2 Taxonomía

Reino	Plantae	Plantas
Subreino	Tracheobionta	Plantas Vascular
Superdivisión	Spermatophyta	Plantas con semillas
Division	Magnoliophyta	Plantas con flores
Clase	Magnoliopsida	Dicotiledoneas
Subclase	Rosidae	
Orden	Rosales	
Familia	Rosaceae	
Genero	Fragaria	Fresa
Especie	<i>Fragaria x ananassa</i> (Weston) Duchense	

Fuente: <http://www.wikipedia.org/wiki/fragaria> (Accesada en octubre del 2007).

4.2 Nitrógeno

4.2.1 Características generales

Las plantas requieren de N durante su ciclo de vida para su crecimiento y desarrollo. Este elemento representa el 1-3% de la materia seca (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004), y es componente de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas y numerosos productos de metabolismo secundario, es el más abundante en los tejidos, por lo que su carencia limita el crecimiento (Miller & Cramer 2004)

4.2.2 Nitrógeno-Planta

El N es importante en la síntesis de clorofila y como parte de su molécula está involucrado en el proceso de fotosíntesis, la carencia de este elemento no permite el intercambio de energía lumínica por química. Es componente de proteínas, por lo que cuando su cantidad es insuficiente, semillas y partes vegetativas tienen bajo contenido de proteínas, cuando se encuentra en exceso incrementa el crecimiento, reduce el cuajado del fruto y afecta adversamente la calidad (Bidwell 1990).

4.2.3 Formas de nitrógeno absorbidas

El N en el suelo se presenta de forma orgánica principalmente como proteínas y aminoácidos y de forma inorgánica en NH_4^+ y NO_3^- (Haynes 1986), las formas orgánicas son transformadas por microorganismos en inorgánicas. Las plantas han desarrollado mecanismos para poder absorber y metabolizar ambas formas inorgánicas de N (NH_4^+ a NO_3^-) y la forma preferencial absorbida depende de la especie, de su estado fenológico y de los factores ambientales (Cárdenas-Navarro *et al.* 2005).

Los cultivos agrícolas absorben la mayoría del N como NO_3^- . Se ha observado que usan cantidades apreciables de NH_4^+ . Su uso ayuda a incrementar el rendimiento en la agricultura actual (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004), esto debido a que la reducción de NO_3^- dentro de la planta requiere energía (NO_3^- es reducido a NH_4^+ en las hojas para convertirse en aminoácidos de la planta), esta energía utilizada es proporcionada por fotosintatos, que podrían ser utilizados para el crecimiento o producción de granos. Cuando es asimilado como NH_4^+ el costo energético es menor ya que es asimilado directamente en aminoácidos (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2006).

Miller & Cramer (2004) determinaron que el NH_4^+ es la forma común en que la planta absorbe N y en algunos casos fuente preferida de N en la agricultura. Sin embargo, puede ser tóxico (inhibiendo el crecimiento, inducir clorosis, estrés hídrico,

incremento de la proporción parte aérea:raíz y acumulación de amino ácidos en los tejidos). Esta sensibilidad depende del medio ambiente edáfico en que la planta se encuentre adaptada y la especie en cuestión. Britto *et al.*, (2002) concluyeron que las plantas domesticadas son más sensibles a la forma NH_4^+ como fuente de N, sin embargo es la forma que las plantas mejor se adaptan.

4.3 Las Micorrizas

4.3.1 Aspectos generales de las micorrizas

La palabra Micorriza, se formó a partir de los términos griegos MYKOS (hongo) y RHIZA (raíz). El botánico alemán Albert Bernard Frank, en el año 1885, creó el término micorriza, para designar la asociación que se producía entre las hifas de algunos hongos del suelo, con los órganos subterráneos de la gran mayoría de las plantas superiores.

El término vesículo-arbusculares se deriva de la presencia de estructuras arbusculares (hifas ramificadas) responsables de la transferencia bidireccional de nutrimentos, acción fundamental en la absorción de elementos minerales de lenta difusión o mineralización entre los simbioses, y vesículas (estructuras globosas) que actúan como órganos de reserva (Mena 2001; Hernández 1999).

Esta asociación mutualista es obligada para el hongo, por lo que requiere de la planta hospedera para continuar su ciclo de vida. El hongo produce arbusculos en las células del parénquima en la raíz de planta, que son las estructuras encargadas del intercambio bidireccional de sustancias entre los dos organismos. El hongo produce grandes (40-800 μm) y multinucleadas esporas cubiertas por gruesas paredes, de forma asexual. Las esporas pueden ser solitarias, en racimos o contenidas en esporocarpos. Las hifas pueden crecer externamente desde la raíz de la planta hacia el suelo (micelio externo) y explorar un volumen de suelo inaccesible a las raíces; con ello la planta aumenta considerablemente su superficie de absorción, dentro de la raíz se subdivide dando lugar a los arbusculos. Sin embargo, de no encontrar una planta hospedera pueden colapsarse.

Al encontrar condiciones favorables para germinar las esporas forman un apresorio en la raíz del hospedero estableciendo una nueva relación simbiótica, posteriormente nuevas esporas se forman sobre el micelio o fuera de la raíz (Redecker 2005).

4.3.2 Tipos de micorrizas

Existen dos tipos morfológicos de micorrizas basado en la penetración del hongo en las paredes de las células enquistadas. En las ectomicorrizas el hongo se encuentra fuera de la raíz sin penetrar la pared celular, forman un manto de hifas llamado “red de Hartig” y se asocian con árboles leñosos. El segundo tipo se denomina endomicorrizas o micorrizas vesículo-arbusculares (MA), donde no se presenta manto fúngico pero si la red de hifas externas, penetran la pared celular, es el más común en la naturaleza (Allen 1991).

4.3.3 Taxonomía de micorrizas arbusculares

Schüßler *et al.*, (2001) basado en el su morfología de sus esporas y por técnicas de biología molecular secuenciando el DNAr (Fig. 3) ubica estos hongos en el Phylum Glomeromycota.

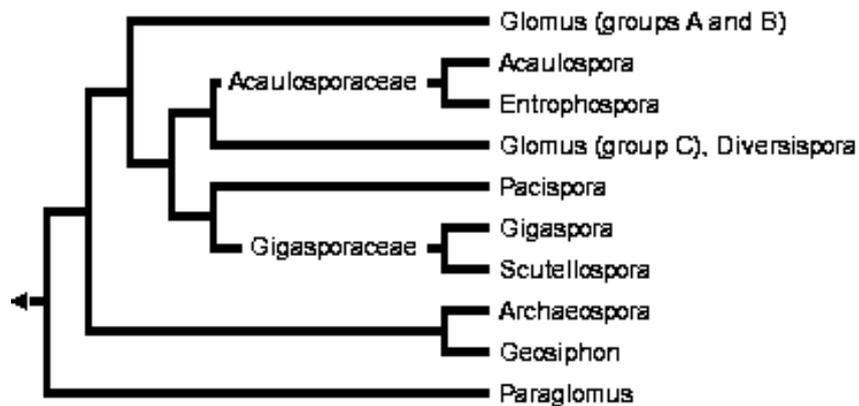


Figura 3 Árbol filogenético de *Glomus*.

Fuente: Schwarzott *et al.*, (2001). Secuencia de pequeñas unidades ribosomales. Subgrupos de *Glomus*.

4.3.4 Descripción de *Glomus intraradices*. (Schenck y Smith, 1982)

El hongo micorrízico *Glomus intraradices* forma esporas redondeadas en el interior de las raíces de la planta hospedadora (Fig. 4a). La pared es de tipo amorfo presenta una capa externa evanescente y una o dos capas internas laminadas de color más oscuro. La pared se extiende hacia el pedúnculo de la espora en forma de tubo. El color de la espora puede variar desde amarillo hasta marrón claro. A pesar de que las esporas de *G. intraradices* se forman en el interior de la raíz (Fig. 4c), pueden encontrarse también grupos de esporas en el suelo, provenientes de la disgregación de una raíz (Fig. 4b).

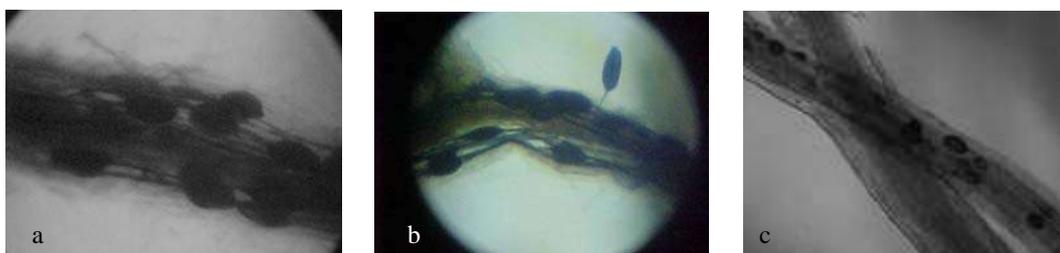


Figura 4 Vesículas de *G. intraradices* en raíces de plantas de fresa en etapa de floración. a y b microscopio 40X y c estereoscopio 10X
Fotos tomadas el 22 de diciembre 2005.

4.3.5 Contribución de las micorrizas a las plantas.

En el caso de las micorrizas se considera una asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas (se considera que esta colonización se encuentra en un 85% de las plantas terrestres, tanto cultivadas como silvestres) y ciertos hongos del suelo, las micorrizas constituyen un componente importante e integral en los ecosistemas naturales (Carreón-Abud *et al.*, 2004).

Ramos-Zapata *et al.*, (2004) concluyeron que los hongos micorrizógenos son importantes en el desempeño de especies vegetales debido a su papel en la toma de nutrientes, protección en condiciones de estrés hídrico y prevención contra patógenos. Son relevantes en la estabilidad del suelo y en la reducción de los efectos

negativos de la competencia, por los consideran de gran importancia en el establecimiento, supervivencia y crecimiento de plántulas en el campo.

Esta asociación mutualista establece una relación con beneficios para los dos organismos implicados, en la cual tanto el hongo como la planta se ven favorecidos: el hongo coloniza la raíz de la planta y le proporciona nutrimentos minerales y agua, que extrae del suelo por medio de su red externa de hifas, mientras que la planta suministra al hongo carbohidratos que elabora a través de la fotosíntesis (Hernández 1999). Al extender el área radical, facilita que la planta incremente su capacidad de sostenerse físicamente en dicho suelo, mejorando su resistencia y adaptabilidad.

El efecto favorable de la simbiosis en el metabolismo del N de la planta hospedera fue demostrado en condiciones experimentales y naturales. El hongo micorrízico puede estar implicado en las diferentes etapas del metabolismo del N, absorción y translocación en el hospedero de formas orgánicas de N solubles (aminoácidos) o formas minerales (NH_4^+ o NO_3^-) y en la asimilación de estas fuentes de N (Plassard 1986). Sin embargo la interacción entre la infección micorrízica y nutrición con N ha recibido poca atención.

V. ANTECEDENTES

Chávez en 1990, demostró los efectos benéficos de HMA en el cultivo de fresa, trabajo con cuatro cultivares de fresa inoculados con tres especies de *Glomus*, concluyó que las plantas inoculadas tienden a sobresalir en las etapas de crecimiento y cosecha, comparadas con las no inoculadas, destacando además que la respuesta dentro de las diversas combinaciones hospedero-endofito difieren ampliamente.

González-Chávez (1992) estudio el efecto de la asociación entre plantas de fresa-*Glomus* sp. CPH-23 con aplicaciones de ácido giberélico sobre la producción de estolones. Los resultados de este cultivo mostraron que esta asociación y ácido giberélico tiene un efecto positivo sobre la producción de estolones y de plantas hijas.

Escalante (2003) utilizó diferentes concentraciones de N con la finalidad de conocer las necesidades de N en el cultivo de plantas de fresa, y determinó que con la concentración 3 mM de N en la solución de riego, se incremento la eficiencia en la producción de materia seca, en comparación con las concentraciones inferiores y superiores utilizadas.

Estudios realizados con plantas de fresa en la fase de propagación vegetativa, se encontró que la forma de N aplicada NH_4^+ o NO_3^- no tienen ningún efecto sobre el desarrollo de la planta madre, sin embargo afectó la inducción floral o la producción de estolones. Cuando las plantas reciben NH_4^+ se incrementaron la producción de flores y frutos, mientras que cuando reciben NO_3^- se estimuló la producción de estolones (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2005).

Lobit *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la fuente de N sobre el crecimiento y arquitectura de la planta de aguacate (*Persea americana* Mill "Has"), determinaron que de manera general el incremento de la forma NH_4^+ como fuente de N afecta negativamente el crecimiento y ramificación de la planta.

Castellanos (2007) evaluó el efecto de la fertilización nitrogenada y la presencia de *Glomus intraradices* sobre el crecimiento de plantas de fresa y la calidad de su producción. Determinó que el hongo micorrízico arbuscular modificó el estado nitrogenado de las plantas y que su efecto sobre el crecimiento y la calidad de frutos estuvo afectada por la concentración de nitrógeno.

Salgado-Barreiro (2007) encontró que para el crecimiento de la planta de fresa es necesaria la asociación con *Glomus intraradices* y ser fertilizadas con 1 mM de N en la solución de riego, además de contribuir en una mayor productividad de fresa a menores costos.

Zepeda (2007) evaluó el efecto de la fuente de N sobre la arquitectura del micelio externo de *Glomus intraradices* y *Glomus lamellosum* cultivados *in vitro* bajo diferentes soportes de crecimiento, en sus resultados encontró que la fuente de N afecta directamente el desarrollo de la arquitectura del micelio externo de los hongos utilizados, donde con la forma NO_3^- desarrollo esporas y no indujo la formación de hifas en ambas especies, mientras que con la fuente NH_4^+ se inhibió la producción de esporas y se desarrollo la formación de hifas.

VI. JUSTIFICACIÓN.

El cultivo de fresa es una de las actividades que puede llegar a ser uno de los principales motores de desarrollo en el estado de Michoacán, sin embargo su rentabilidad se ve afectada por la cantidad de insumos en fertilizantes nitrogenados aplicados.

Una de las contribuciones de la asociación micorrizica es la nutrición, debido a que permite obtener una mayor exploración de la rizósfera, esta asociación es considerada uno de los componentes más activos en la absorción de nutrientes para la planta aumentando la productividad en los cultivos de importancia económica (Azcón y Barea 1997).

En el cultivo de fresa se desconoce el beneficio que pueda tener la asociación MA sobre la dosis de fertilizante nitrogenado y la forma en que el N es absorbido por la planta en estado productivo, por lo que los resultados de este estudio servirán para conocer el efecto que tiene la asociación entre plantas de fresa *Fragaria x ananassa*, Duch. Cv. "Aromas" y *Glomus intraradices* en condiciones de fertilización nitrogenada variable. Además contribuirá al diseño de estrategias en el desarrollo de sistemas de producción sustentables y disminuirá el deterioro a los ecosistemas que implica el uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados.

VII. HIPÓTESIS

La asociación entre plantas de fresa *Fragaria x ananassa*, Duch. Cv. "Aromas" y el hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, incrementa el crecimiento y la producción de frutos de la planta, en función de la disponibilidad y de la forma de nitrógeno en la solución de riego.

VIII. OBJETIVOS

8.1 General

- Estudiar la contribución del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices* sobre el desarrollo de plantas de fresa cultivadas en disponibilidad alta y baja de nitrógeno y cuatro diferentes proporciones de las formas NO_3^- y NH_4^+ .

8.2 Particulares

- Evaluar la contribución de *Glomus intraradices* sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas a 1.0 y 8.0 mM de nitrógeno.
- Evaluar la contribución de *Glomus intraradices* sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas con las siguientes proporciones de las formas NH_4^+ - NO_3^- : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1.
- Evaluar la interacción de *Glomus intraradices* niveles y formas de nitrógeno, sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa.

IX. MATERIALES Y METODOS GENERALES

El trabajo se estableció a finales de junio del 2005 en un invernadero de cristal automatizado ubicado en la Unidad San Juanito del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia Michoacán, México.

9.1 Material biológico

La variedad de fresa usada fue la denominada 'Aromas', procedente del programa de mejoramiento genético de la Universidad de California, las plantas fueron de calidad 'certificada', adquiridas en viveros del estado de California, EE. UU. Esta variedad es de fotoperiodo neutro, su crecimiento es rápido y la etapa de producción es prolongada, su fruto es de tamaño medio, de color rojo oscuro, tiene buen sabor y raramente se presentan frutos deformes, además de tolerar enfermedades en corona y raíz (UC IPM UC 2005).

El inóculo usado fue de la especie *Glomus intraradices*, el cual fue proporcionado por del banco de micorrizas del laboratorio de Interacción Planta-Suelo-Microorganismo del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

9.2 Condiciones de establecimiento

Las plantas fueron lavadas y esterilizadas con una solución de hipoclorito de sodio (1%) y establecidas en bolsas de plástico negro con capacidad de 2 litros que contenían un sustrato esterilizado mediante vapor de agua a 90-100°C durante 4 horas. El sustrato estuvo compuesto por una mezcla de fibra de coco y agrolita (1-4 v/v). Durante los primeros treinta días las plantas fueron regadas únicamente con agua desmineralizada.

9.3 Inoculación micorrizica y verificación de la micorrización

A los quince días después del establecimiento de las plantas, estas fueron inoculadas. El inoculo consistió en esporas con 99% de viabilidad y fue preparado en una solución de fitagel a 0.5 % (Sigma Catalogue, No. P-8169); colocado con la ayuda de una jeringa de 5 ml. Se suministró 2 ml. de inoculante cerca de la raíz de cada planta conteniendo aproximadamente 120 propágulos del hongo. Quince días después de la inoculación se realizó un muestreo para verificar la colonización, utilizando la técnica de tinción propuesta por Vierheilig (1998), que consiste en clarificar las raíces y teñir las estructuras mediante hidróxido de potasio y vinagretinta, observando después al estereoscopio 4X. A partir de esta fecha se establecieron los tratamientos nutritivos.

9.4 Tratamientos

El ensayo consistió en la evaluación de tres factores: 1) Inoculación, 2) concentración de N en la solución de riego y 3) formas de N en la solución nutritiva. El primer factor constó de dos niveles (presencia y ausencia); el segundo factor se integró también de dos niveles, 1.0 y 8.0 mM de N, estas concentraciones se eligieron al considerar los resultados obtenidos en trabajos elaborados por Escalante (2005) y Castellanos (2007), quienes determinaron que con la concentración 3 mM se obtiene óptimo crecimiento de la planta de fresa.

El tercer factor se constituyó con cuatro niveles, representado por cuatro proporciones de $\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$ en la solución de riego: 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1. Esta combinación de factores dio como resultado 16 tratamientos (Anexo 1), cada uno de los cuales fue repetido en cuatro unidades experimentales con cinco plantas cada una. Las 64 unidades experimentales resultantes se distribuyeron en un arreglo de bloques al azar.

Durante treinta días después de la plantación (ddp) las plantas fueron regadas cada dos días con una solución nutritiva completa (macronutrientes y micronutrientes), de acuerdo al tratamiento (concentración y forma de N) correspondiente (Anexo 2).

Las soluciones nutritivas fueron formuladas tomando como base la solución propuesta por Cárdenas *et al.*, (1998), reduciendo a 1/3 la concentración de fosfatos, para favorecer el desarrollo de la micorrización y manteniendo la carga iónica de todas las soluciones en 13 Eq m⁻³ (Anexo 2) y el pH en 5.5.

Las plantas permanecieron en estas condiciones durante ocho meses. Se realizaron dos muestreos, el primero en floración (147 ddp) y el segundo al finalizar la fructificación (267 ddp). El estado de colonización de la planta se realizó a los 217 ddp y la producción de frutos se evaluó en la primera fructificación.

9.5 Medición de variables

En cada muestreo se tomó una planta por unidad experimental y se determinaron las siguientes variables:

Un día antes de realizar el muestreo se midió la actividad fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y la transpiración *in vivo* e *in situ*, entre las 10:00 y 13:00 horas, utilizando un sistema abierto de gases al infrarrojo, con un flujo fotónico de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LI-COR 6400, USA). Al día siguiente, la planta muestreada se seccionó para determinar el peso fresco de hojas, corona, raíz, flores y frutos, utilizando una balanza de precisión (Mettler Toledo, PR8002, Switzerland). El peso seco se obtuvo al secar estos órganos mediante el uso de un horno a 80°C durante 48 hrs. (Oven Felisa). A las hojas seccionadas se les determinó el área foliar (cm² /planta), mediante un planímetro (LI-COR, Li-3100, USA).

En cada una de las plantas muestreadas se determinó el porcentaje de segmentos de raíz colonizados mediante la técnica de tinción tinta-vinagre (Vierheilig, 1998), usando un microscopio óptico binocular (Iroscope U-TH modelo 7000654). Para ello se usaron 10 filamentos de raíz de 1 cm de largo cada uno. Las muestras secas fueron molidas en un molino (RETSCH MM 200, USA) a 30 movimientos/s⁻¹ durante 2-4 min. Posteriormente se determinó el contenido de N elemental mediante el método de Dumas, en un equipo automático (Auto Analyzer Carlo Erba, Flash EA1112, Italy). Este método consiste en la combustión de la

muestra a 1800°C, reducción del N oxidado de dicha combustión a 600°C y separación de los gases por cromatografía en flujo de helio.

Las variables medidas se analizaron en el software SYSTAT 11.0 para Windows, aplicando ANOVA factorial; y cuando existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se aplicó la prueba de medias DMS (Diferencia Mínima Significativa).

X RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO I

Evaluación de la contribución de *Glomus intraradices* sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas a 1.0 y 8.0 mM de nitrógeno.

i. Resumen

En México la producción de fresa representa una importante fuente de empleos, por lo que se considera de importancia socioeconómica. Tradicionalmente, el cultivo de fresa es fertilizado con altas concentraciones de nitrógeno (N) sin considerar los efectos secundarios que esta actividad implica, como son, incremento en los costos de producción, deterioro ambiental, y ensalitramiento de los suelos. La micorriza arbuscular es considerada benéfica en la nutrición de la planta, debido a su abundante micelio, que constituye un puente entre la planta y el suelo, por lo que su uso permitiría reducir la fertilización.

El objetivo de este trabajo fue determinar la contribución que tiene *Glomus intraradices* en el crecimiento y producción de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* var. "Aromas") fertilizadas con alta y baja concentración de nitrógeno (1.0 y 8.0 mM) en la solución de riego. Se evaluó porcentaje de colonización, materia fresca de parte aérea, actividad fotosintética, área foliar, producción de frutos y porcentaje de nitrógeno. La asociación de los factores concentración de N alto y plantas inoculadas mostraron efecto estadístico significativo ($P \leq 0.05$), generando un aumento de las variables evaluadas, excepto para porcentaje de colonización y producción de frutos.

Palabras clave: Concentración de nitrógeno, micorriza, fresa.

ii. Abstract

In Mexico, strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) is an important crop due to the number of jobs it creates. Conventional strawberry cultures is fertilized with high levels of nitrogen (N) without considering the secondary effects like increase of the cost in the pre-culture, environmental impact and salinization of the soil that constrain growth plant. The arbuscular mycorrhizal is considered beneficial in the nutrition by the plants, due to abundant extraradical mycelium that establish an improved connection between the plant and soil.

The goal of this research was to determine the contribution of *Glomus intraradices* fungus in the growth and plants of strawberry (var. Aromas) production with high and low concentration of nitrogen (1.0 y 8.0 mM) in the irrigation solution. The following variables were evaluated: micorrhizal colonization; biomass, photosynthetic activity, leaf area, fruit production and nitrogen percentage. The results show that the combination of high N and micorrhizal inoculation had a positive effect on the evaluated, except the micorrhizal colonization and fruit production.

Key words: Nitrogen concentration, micorrhizal, strawberry.

iii. Resultados y discusión

a. Porcentaje de Colonización.

Al analizar el porcentaje de colonización de *G. intraradices* en las raíces de plantas de fresa, se observó que las plantas inoculadas y fertilizadas con 1 mM de N presentaron un valor estadísticamente superior ($DMS P \leq 0.05$) al de las plantas fertilizadas con 8 mM N (Fig. 5). El incremento de la concentración de N en la solución de riego, produjo un efecto negativo sobre la colonización de *G. intraradices* en la raíz de planta de fresa y producción de frutos.

Resultados similares se obtuvo en el proyecto internacional realizado en 27 localidades de Europa, donde se encontró que altos niveles de N (240 kg/ha^{-1}) aplicados al cultivo de trigo reduce la colonización del hongo micorrízico arbuscular (Baltruschat 1986). Niemi *et al.*, (1992) concluyó que las plantas de fresa inoculadas, presentan niveles bajos de infección como consecuencia de niveles altos de fertilización.

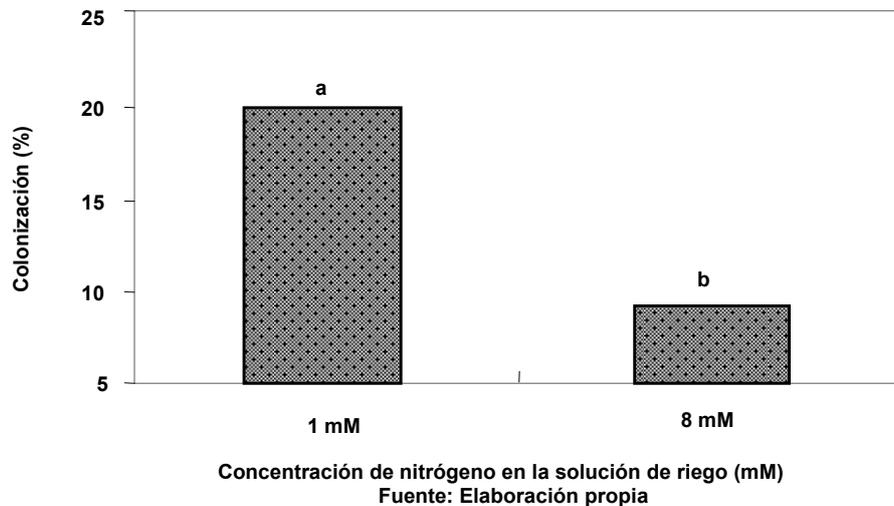


Figura 5 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego: Sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 217 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

b. Peso fresco de la parte aérea.

A los 147 ddp (primera fecha), la concentración de N en la solución de riego estableció diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) sobre esta variable, siendo las plantas no inoculadas y fertilizadas con 8 mM de N en la solución de riego quienes mostraron mayor rendimiento de materia fresca de la parte aérea comparado con el resto de los tratamientos (Fig. 6a).

Resultados similares obtuvo Niemi (1990) quien estableció que en la primera temporada, las plantas de fresa mantenidas con altos niveles de fertilización nitrogenada generan mayor producción de yemas axilares, para la formación de hojas, estolones y flores. Por su parte, Monroy *et al.*, (2001) determinaron que las etapas de máxima absorción de fertilizante nitrogenado se presentaron a 64-91, 128-157, y 188-219 días después del transplante. Chávez (1990) demostró que las plantas de fresa inoculadas tienden a reducir el crecimiento en fases tempranas, efecto que relacionó con el establecimiento de la asociación simbiótica.

A los 267 ddp (segunda fecha) las plantas de fresa inoculadas y mantenidas con 8 mM de N en la solución de riego desarrollaron mayor rendimiento de materia fresca de la parte aérea, presentando diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) comparadas con el resto de los tratamientos nitrogenados (Fig. 6b). Niemi (1990) determinó que en la segunda temporada, las plantas de fresa inoculadas muestran mayor crecimiento, beneficio obtenido de la asociación micorrizica.

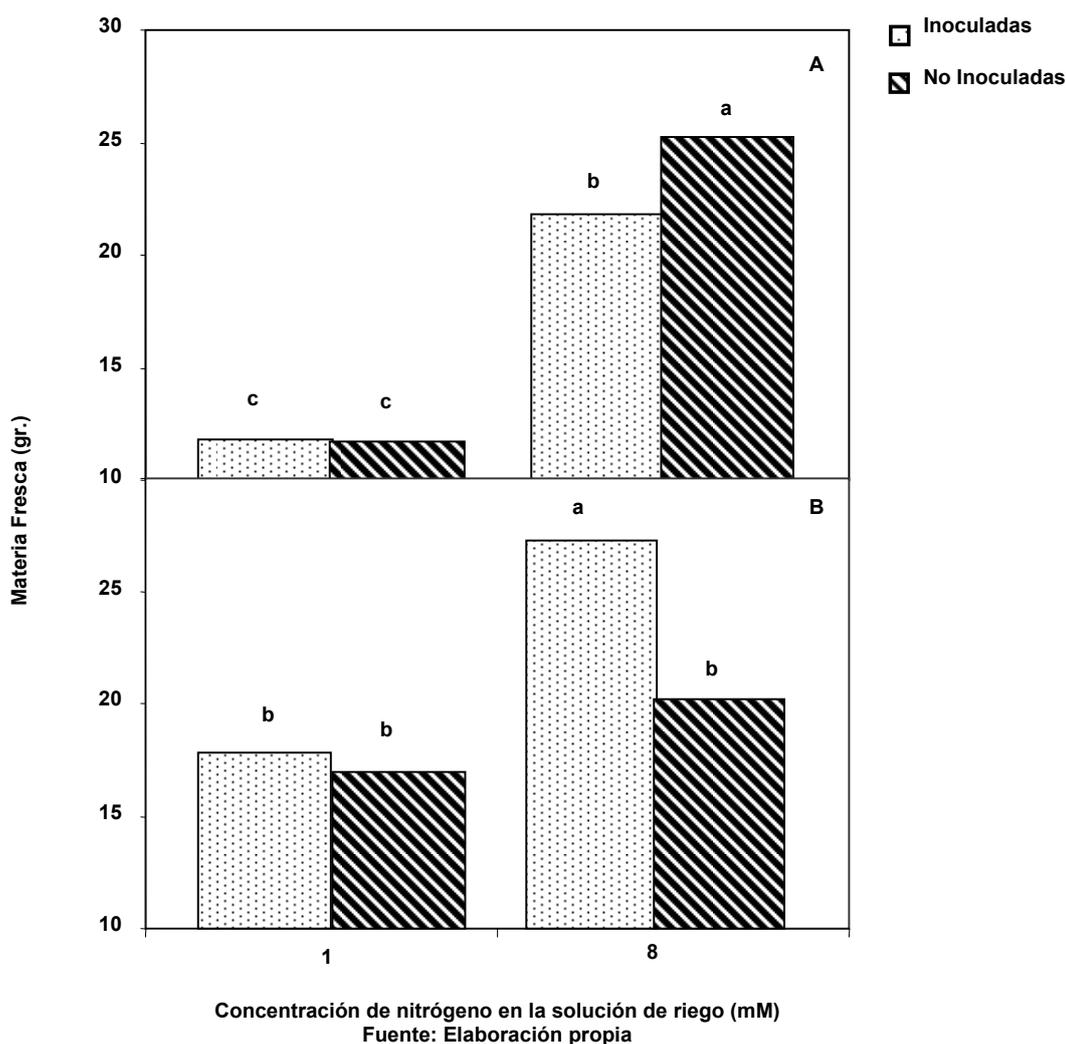


Figura 6 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre la acumulación de materia fresca en la parte aérea de plantas de fresa 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

c. Área foliar.

Los resultados de la primera fecha indicaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), mostrando que las plantas de fresa mantenidas a 8 mM de N en la solución de riego desarrollan mayor área foliar que las plantas mantenidas a 1 mM de N (Fig. 7a).

Castellanos (2007) determinó que el área foliar se incrementa con altas concentraciones de nitrógeno. Por su parte, Niemi *et al.*, (1990) determinaron que en la primera temporada de crecimiento, la planta de fresa fertirrigadas con altas concentraciones de N, tuvo un acelerado desarrollo de primordios destinados a la formación de hojas.

Durante la segunda fecha las plantas inoculadas y fertilizadas con 8 mM de N en solución de riego presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Estas plantas desarrollaron mayor superficie foliar que las plantas fertilizadas con el resto de los tratamientos nitrogenados (Fig. 7b).

Resultados similares se obtuvieron en el trabajo realizado por Villa-Castorena *et al.*, (2003) al evaluar el efecto de tasas de salinidad y nitrógeno en el crecimiento en plantas de chile, determinaron que tasas altas de fertilizantes nitrogenados incrementan el área foliar durante los últimos periodos de desarrollo. Srivastava (1999) estableció que una tasa baja de N disminuye la parte aérea.

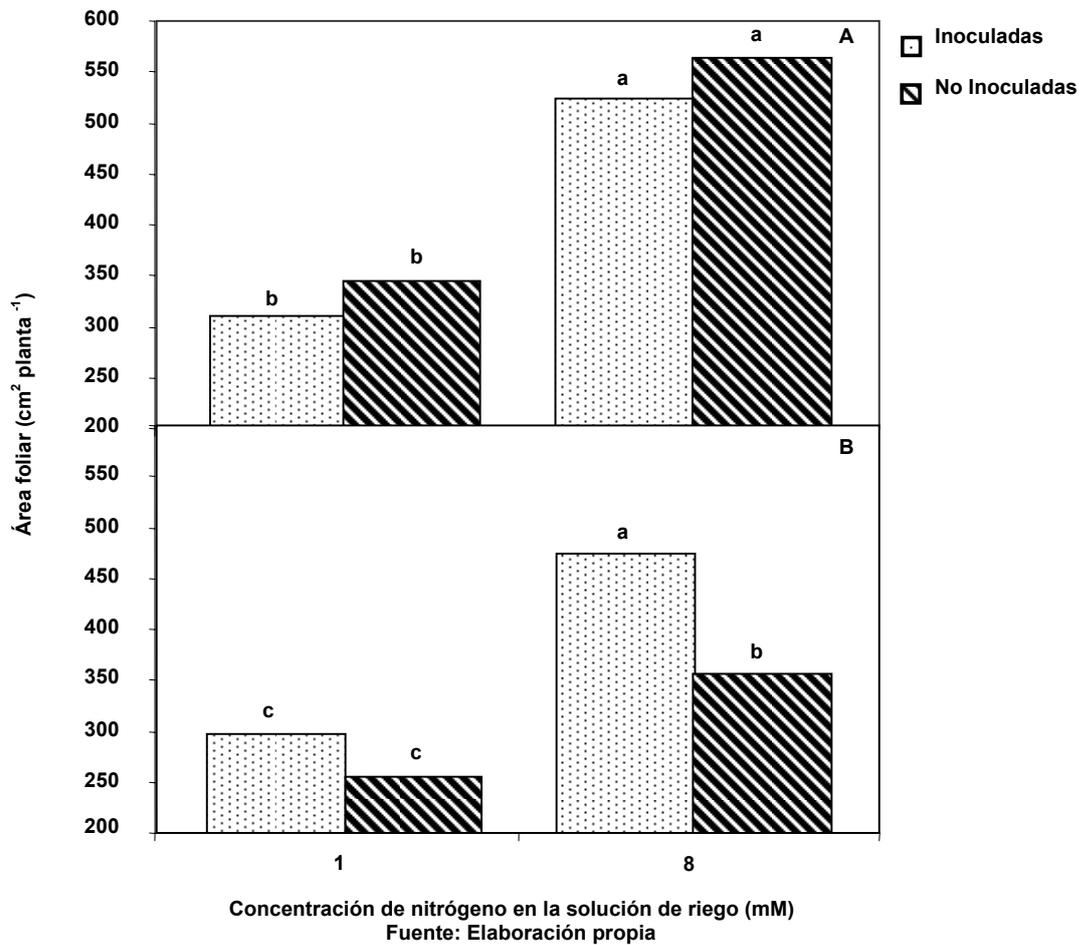


Figura 7 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

d. Asimilación de CO₂.

La concentración de N en la solución de riego no afecta estadísticamente la actividad fotosintética durante la primera fecha (Fig. 8a). Estos resultados sugieren que en la fase temprana de colonización o establecimiento del hongo, no hay efecto de la concentración de N y de la presencia de la micorriza sobre la actividad fotosintética.

En la segunda fecha la concentración de N en la solución de riego produjo diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$), siendo las plantas inoculadas y cultivadas a 1 mM de N las que presentan mayor asimilación de CO_2 , el resto de los tratamientos nitrogenados no registraron diferencias (Fig. 8b).

Bago (2000) determinó que la asociación simbiótica tiende a incrementar la tasa fotosintética en la planta hospedera. Carreón *et al.*, (2007) concluyeron que dentro de los efectos fisiológicos con que responde una planta a la inoculación se encuentra una mayor tasa fotosintética.

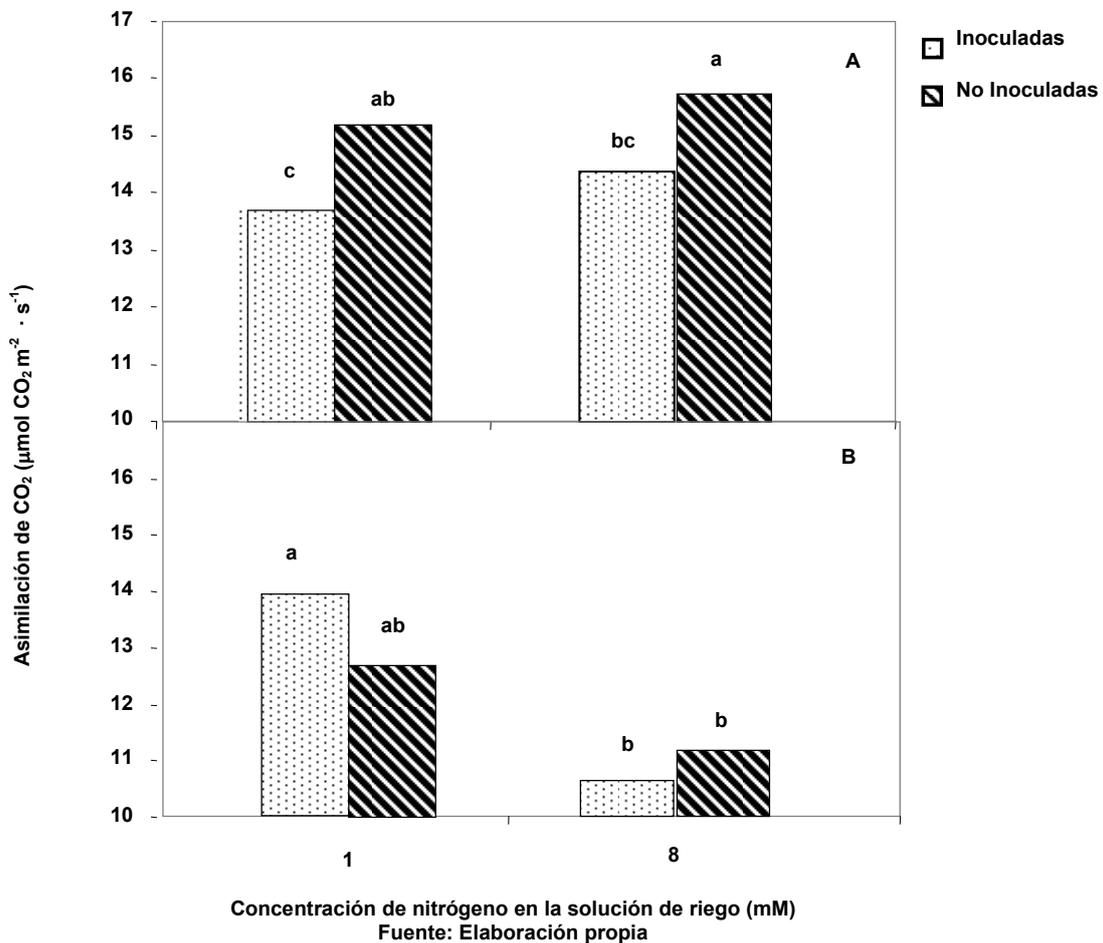


Figura 8 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO_2 en de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

e. Contenido de nitrógeno en hojas.

A los 147 ddp, se observó que la concentración de N en la solución de riego no provocó diferencias estadísticas sobre esta variable (Fig. 9a).

Darnell (2001) determinó la inhabilidad de la planta de fresa para aumentar su actividad en respuesta a diferentes concentraciones de N.

La concentración de N en la solución de riego produce diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 267 ddp, siendo el efecto combinado de inoculación y concentración 8 mM que muestra plantas con mayor contenido de N en sus hojas, comparadas con las no inoculadas y las plantas mantenidas a 1 mM de N (Fig. 9b).

Sin embargo Alarcón *et al.*, (2000) consideraron que una baja fertilidad permitió a los hongo micorrízico arbusculares aprovechar con mayor eficiencia los nutrimentos, haciéndolos disponibles y aprovechables para la planta. Mientras que Castellanos (2007) determino que la presencia *G. intraradices* contribuye en la adquisición de N y en la acumulación de este elemento en las hojas de la planta de fresa.

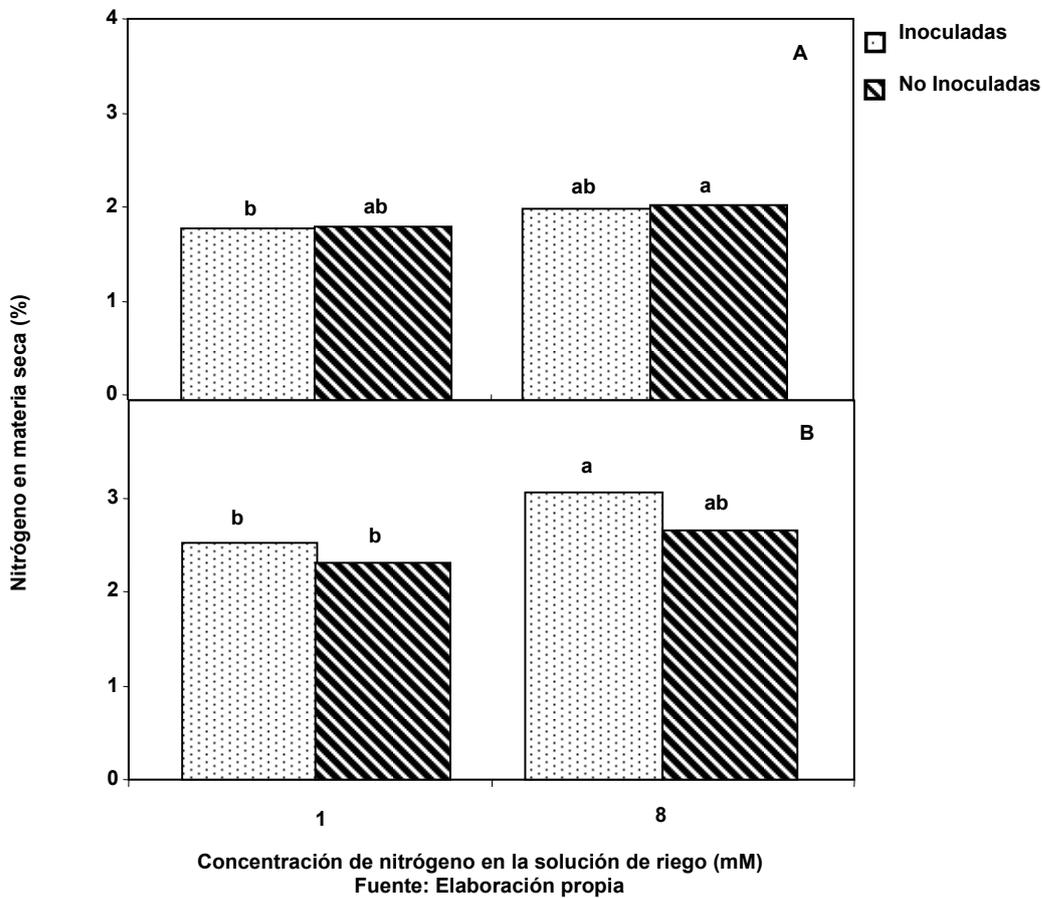


Figura 9 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de hoja de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

f. Contenido de nitrógeno en corona.

Al considerar los tratamientos de concentración de N en la solución de riego, las plantas inoculadas y fertilizadas con 8 mM de N muestran diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$), las cuales presentaron un mayor contenido de N en materia seca de corona, comparadas con el resto de los tratamientos en la primera fecha de muestreo (Fig. 10a).

Sugiriendo que durante las primeras etapas de crecimiento de la planta de fresa existe un efecto favorable de *G. intraradices* sobre la acumulación de N en la corona, cuando las plantas son fertilizadas con altas concentraciones de N en la solución de riego.

La concentración de N en la segunda fecha, da diferencias significativas ($P \leq 0.05$), siendo las plantas de fresa fertilizadas con 8 mM de N, las que mostraron mayor contenido de N en la corona comparadas con plantas a 1 mM de N (Fig. 10b). En esta fecha la presencia de *G. intraradices* no contribuye en el contenido de N en la corona.

Estos resultados sugieren que una disponibilidad alta de N para la planta de fresa, propició mayor contenido de N en la corona, órgano considerado de almacenamiento de nutrientes.

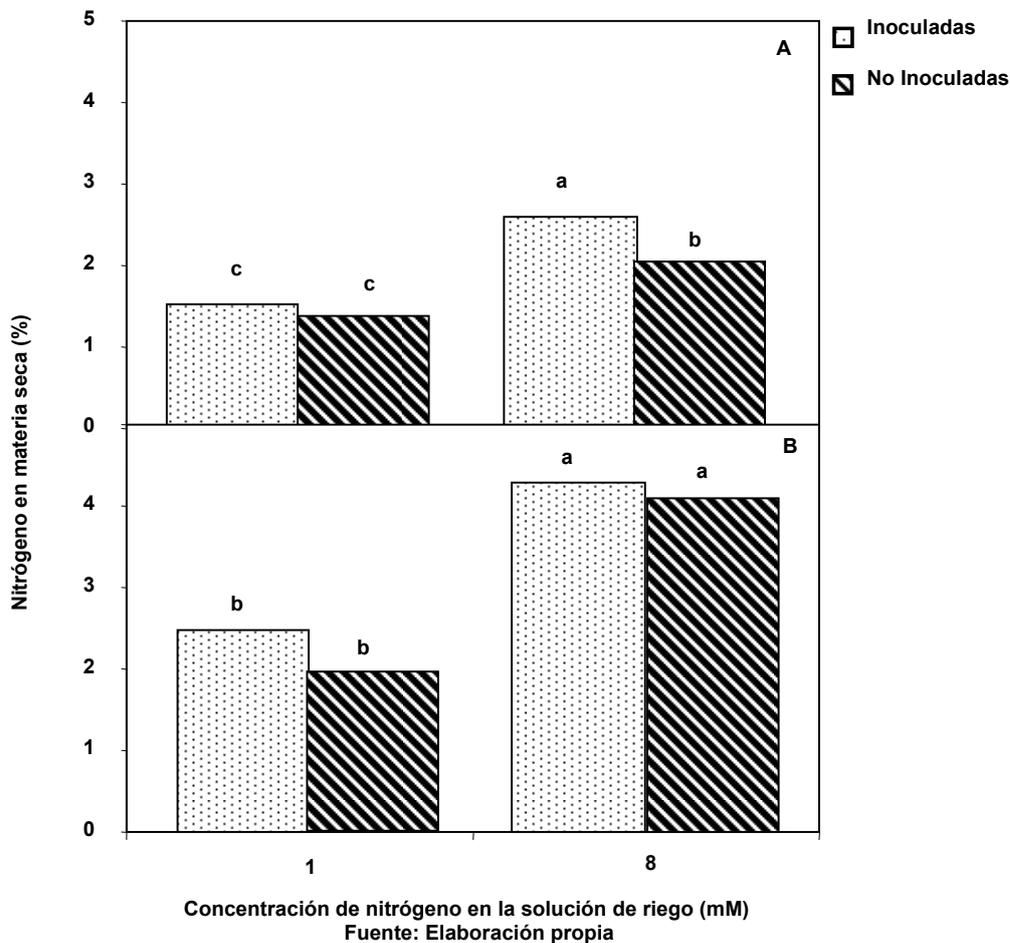


Figura 10 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de corona de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

g. Contenido de nitrógeno en raíz.

Al considerar la concentración de N en la solución de riego, los resultados de contenido de N en la raíz muestran diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en ambas fecha de muestreo. Donde las plantas fertilizadas con 8 mM de N muestra mayor contenido de N en raíz, comparadas con 1 mM de N (Fig. 11a y 11b). Mientras que *G. intraradices* no contribuye para esta variable.

Monroy (2001) estableció que la eficiencia en la recuperación de N total más baja, se presentó a los 64 días después del trasplante. Mientras que durante el crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa fertilizadas con altas concentraciones de N en la solución de riego, presentan mayor cantidad de N en la raíz.

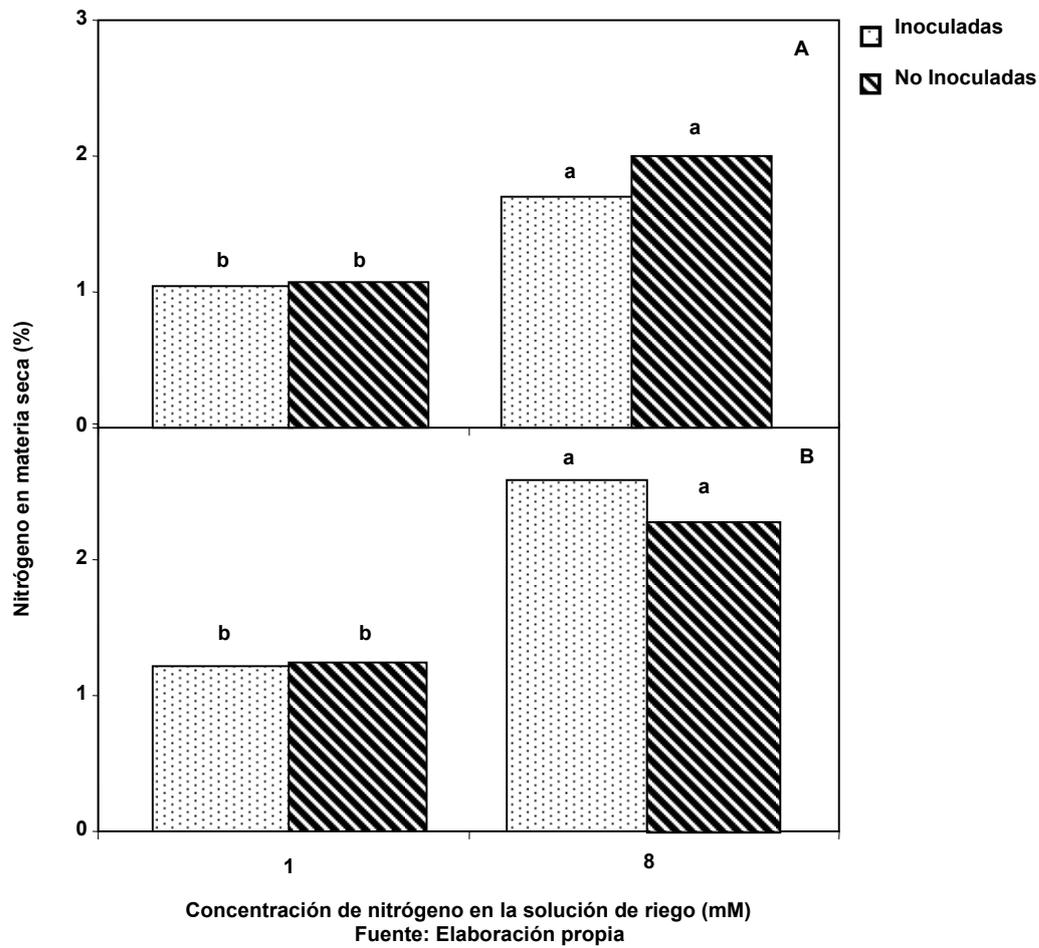


Figura 11 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración de nitrógeno en la solución de riego sobre el contenido de nitrógeno en materia seca de raíz de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

h. Producción de frutos.

La concentración de N en la solución de riego y la colonización con *G. intraradices* en plantas de fresa dio diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Siendo las plantas inoculadas y fertilizadas con 1 mM de N, las que mostraron mayor rendimiento en la producción de frutos, comparadas con el resto de los tratamientos (Fig. 12). Los resultados demostraron que con el tratamiento 1 mM de N en la solución de riego, la colonización del hongo en la raíz de la planta de fresa y la asimilación de CO_2 , se ven favorecidos, derivando en mayor asimilación de nutrientes y producción de fotosintatos, destinados a la producción de frutos.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Rodríguez *et al.*, (1999), quienes determinaron que hay una tendencia a disminuir la producción de frutos al incrementar la dosis de nitrógeno. Salgado-Barreiro (2007) determino que cuando se utilizan cantidades mínimas de fertilizantes nitrogenados y la presencia de *G. intraradices* contribuyen a una mayor productividad de fresas. Khayyat (2007) determinó que la salinidad en la solución nutritiva limita la producción de frutos en las plantas de fresa.

Sin embargo Bull (2005) analizó siete cultivares de fresa inoculados y determinó que la inoculación no tiene beneficio en la producción de frutos.

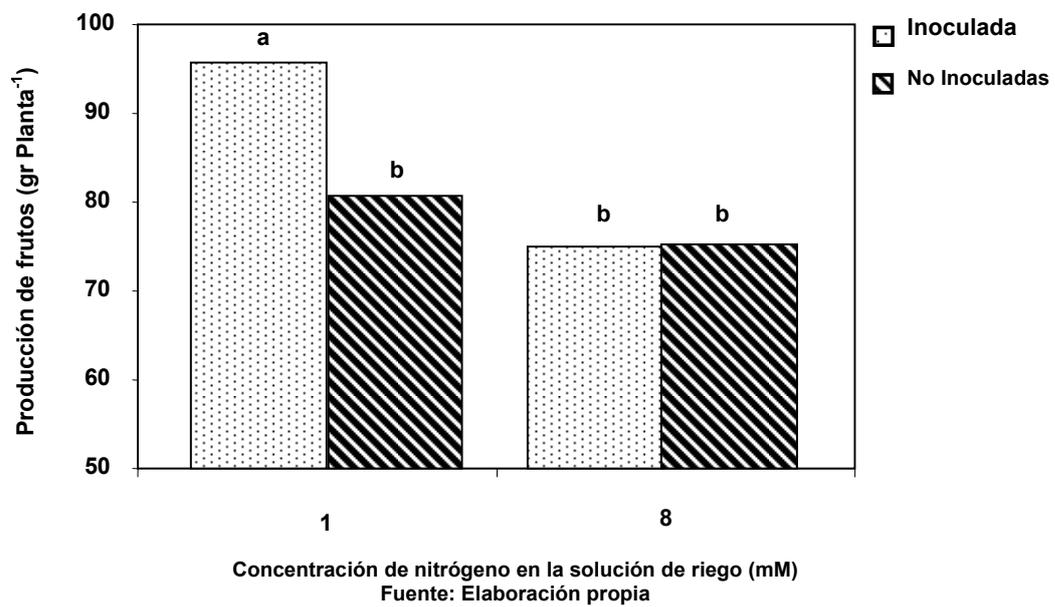


Figura 12 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la concentración del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en de plantas de fresa durante la etapa de fructificación. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

iv. Conclusiones

En la primera fecha de muestreo, la asociación simbiótica entre plantas de fresa *Fragaria x ananassa* var. "Aromas" y el hongo micorrízico arbuscular *G. intraradices*, no tiene un efecto en el desarrollo de la planta, cuando son fertilizadas con una solución nutritiva de baja concentración de N (1 mM). Sin embargo, el rendimiento de producción de frutos y la asimilación de CO₂ se ven beneficiados con la asociación micorrizica y la fertilización con 1 mM de nitrógeno. El efecto de esta asociación se observó en la segunda fecha de muestreo, donde las plantas inoculadas y mantenidas con una concentración alta de nitrógeno (8 mM) obtienen mayores rendimientos en materia fresca de parte aérea, área foliar, contenido de N en materia seca de corona y raíz. Lo cual puede ser aprovechado por el productor de fresa, ya que con el uso de esta asociación micorrízica en el cultivo de fresa y la dosificación de fertilizantes nitrogenados, puede extender y mejorar su producción.

CAPITULO II

Evaluación de la contribución de *Glomus intraradices* sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa cultivadas con las siguientes proporciones de las formas NH_4^+ - NO_3^- : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1.

i. Resumen

Las plantas de fresa *Fragaria x ananassa* var. "Aromas" en asociación con *Glomus intraradices* fueron cultivadas en un invernadero de cristal y fertilizadas con cuatro proporciones de NH_4^+ - NO_3^- (0-4, 1-3, 2-2 y 3-1) como fuente de N en una solución nutritiva completa y con un pH constante de 5.5. Se evaluó la respuesta de las plantas de fresa a las formas de suministro de la fuente de N y la influencia de *G. intraradices*, sobre colonización, actividad fotosintética, materia fresca de parte aérea, área foliar, contenido de N en materia seca de los órganos de la planta y producción de frutos. La forma y tiempo en que se suministra el N y la presencia del hongo micorrízico determinan el crecimiento y desarrollo de la planta de fresa.

Palabras clave: formas de nitrógeno, micorrizas, fresa.

ii. Abstract.

The Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. var. Aromas) in association with *Glomus intraradices* were established into a greenhouse with four different concentration of N in the form of NH_4^+ - NO_3^- (0-4, 1-3, 2-2 y 3-1 mM) adjusted to pH 5.5. We evaluated the response the forms of the supply of the different source of N and the participation of the inoculum *G. intraradices* over colonization, photosynthetic activity, biomass, leaf area and N content in the biomass and fruit. N form, time of application and presence of micorrhizae affected the development to strawberry plant.

Key words: nitrogen forms, mycorrhizal, strawberry.

iii. Resultados y discusión.

a. Porcentaje de colonización.

El efecto de la proporción NH_4^+ - NO_3^- sobre la presencia del hongo micorrizico da diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Donde el tratamiento 0-4 (NH_4^+ - NO_3^-) como fuente de N a los 217 ddp., presentó 52.5 % de colonización, el resto de los tratamientos (1-3, 2-2 y 3-1) mostraron menos del 5% (Fig. 13).

Hawkins *et al.*, (2001) evaluaron la influencia de NH_4^+ y NO_3^- sobre la contribución de *Glomus mosseae* en el cultivo de trigo y concluyeron que el efecto de NH_4^+ sobre la hifa, se relaciona con la reducción en su crecimiento. Estableciendo que hay un efecto perjudicial en la colonización del hongo en la raíz de la planta de fresa cuando se mantiene con una solución de nutritiva donde la fuente de N es NH_4^+ (Britto *et al.*, 2002), esta forma no puede ser transportada al interior del hongo debido a que es tóxico para sus tejidos, por lo que tiene que ser convertido a glutamina para ser transportado al hongo y transferido a la planta (Allen *et al.*, 2003). Razón por lo que la forma NH_4^+ como fuente de N, reduce el porcentaje de colonización en la raíz (Hawkins *et al.*, 2001).

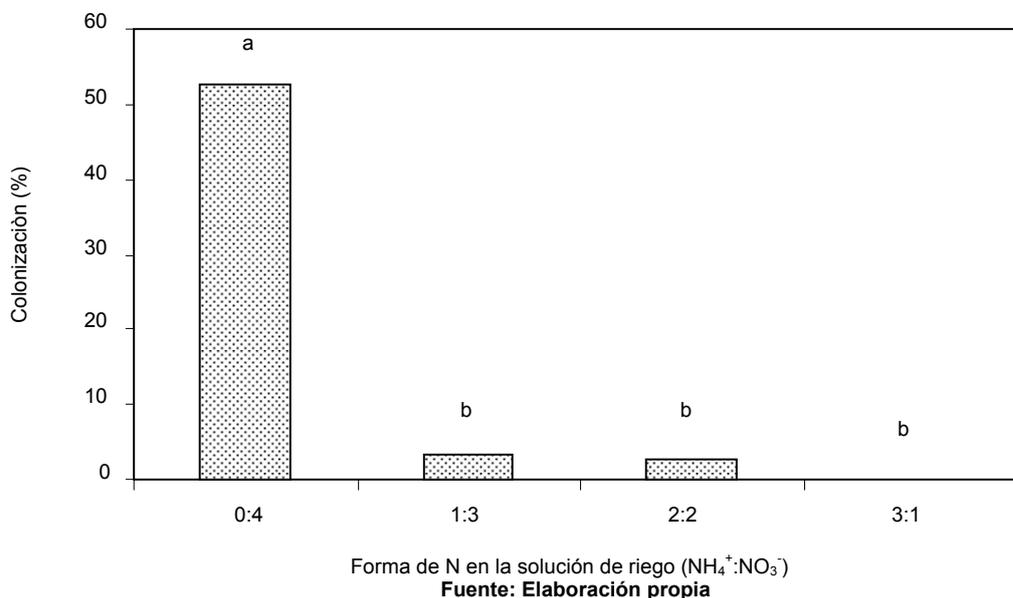


Figura 13 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 217 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

b. Materia fresca de la parte aérea.

Al analizar los resultados de las formas de N sobre la producción de materia fresca parte aérea de plantas de fresa en la primera fecha de muestreo, no se observan diferencias entre los tratamientos (Fig. 14a).

Sin embargo, Yoshida *et al.*, (2004) compararon la preferencia de plantas arbustivas inoculadas, por NH_4^+ o NO_3^- como fuente de N, encontraron que las plantas fertirrigadas con NO_3^- como fuente de N, obtuvieron mayor rendimiento de biomasa y que la asociación micorrizica mostró pequeños efectos sobre la adición de N a la planta, esto último debido al corto tiempo del experimento.

Al analizar el efecto de la fuente de N, en la segunda fecha de muestreo, se observaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Las plantas con el tratamiento 3-1

(NH_4^+ - NO_3^-) desarrollaron menos materia fresca de la parte aérea que el resto de los tratamientos (Fig. 14b).

La producción de materia fresca de parte aérea tienden a disminuir conforme se adiciona NH_4^+ en la solución de riego debido a que el amonio es tóxico para la planta (Miller 2004), debido a que acidifica la rizósfera e induce a la deficiencia de nutrientes por el desbalance en el transporte de iones, deteriorando el crecimiento de la planta (Tabatabaei *et al.*, 2006).

Por otra parte Britto explica que la forma NH_4^+ como fuente de N probablemente limita solo cuando la capacidad de liberación de fotosintatos vía floema es impar en la parte aérea de la planta y bajo condiciones excesivas de respiración, lo cual no contribuye en el crecimiento.

Miller (2004) explica que las plantas se ven beneficiadas cuando se fertilizan en una mezcla proporcional y adecuada de NH_4^+ - NO_3^- como fuente de N en la solución de riego.

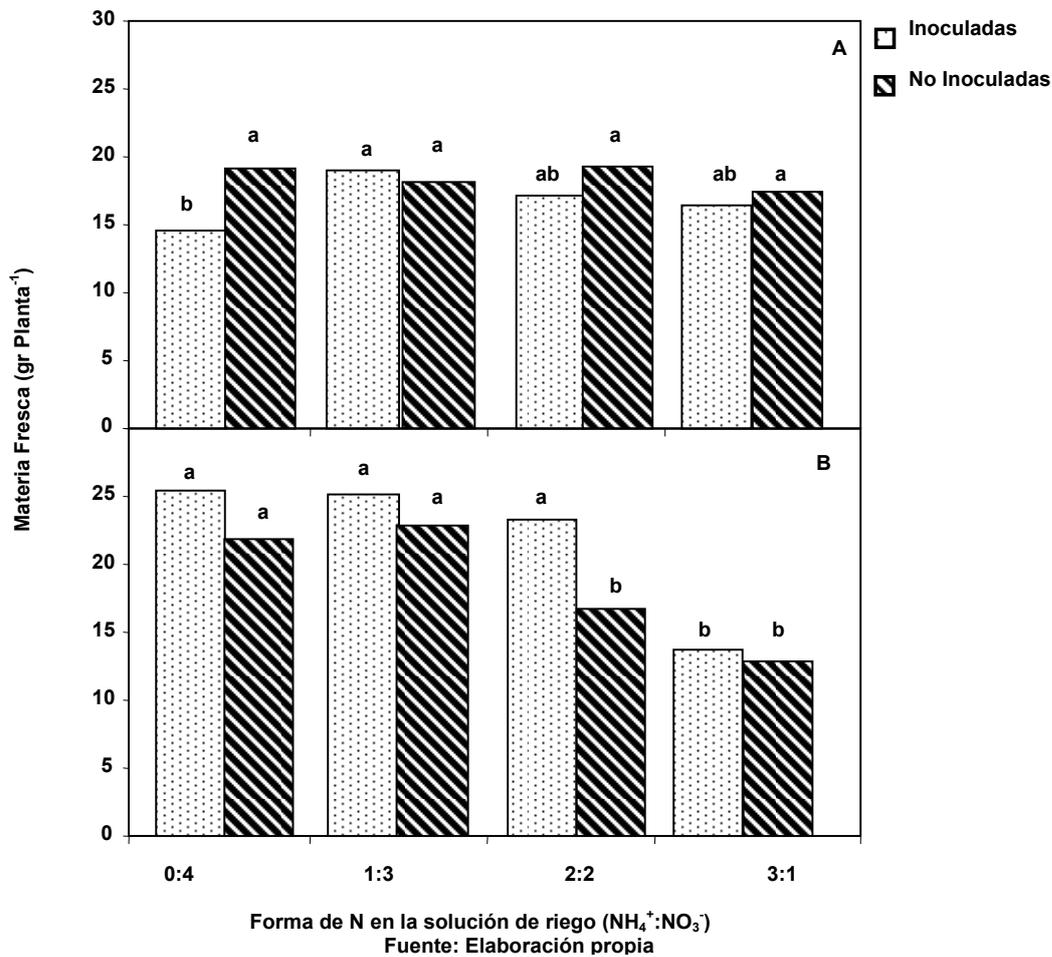


Figura 14 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de materia fresca de parte aérea en plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

c. Área foliar.

Al analizar los resultados de la primera fecha de muestreo, la forma de N en la solución de riego no establece diferencias significativas sobre esta variable (Fig. 15a)

Sin embargo, Tabatabaei *et al.*, (2006) analizaron los resultados obtenidos del área foliar de plantas de fresa fertilizadas con cuatro formas de N (NH₄⁺-NO₃⁻) en la solución de riego, encontraron que la forma NH₄⁺ como fuente de N en la solución de riego reduce el área foliar.

Para la segunda fecha de muestreo, la forma de N en la solución de riego presenta diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El tratamiento 3-1 ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$) reduce el área foliar (Fig. 15b).

Este mismo resultado es reportado por Tabatabaei *et al.*, (2006), quienes determinaron que las plantas cultivadas con NH_4^+ como fuente de N, tienden a disminuir la expansión del área foliar.

La influencia del hongo sobre el desarrollo de área foliar se observó en el tratamiento 2-2 ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$) de la segunda fecha. Donde las plantas inoculadas desarrollaron mayor área foliar y fueron diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$) comparadas con las plantas no inoculadas.

A esta misma conclusión llegaron Guo *et al.*, (2006) quienes determinaron que la presencia de la micorriza incrementa el crecimiento de plantas de cebolla en condiciones de hidroponía, excepto cuando se incrementa la forma NH_4^+ como fuente de N en la solución de riego. Por otra parte, Tabatabaei *et al.*, (2006) concluyeron que la combinación ambas formas de N en la solución de riego aparentemente beneficia el crecimiento de la planta y su producción.

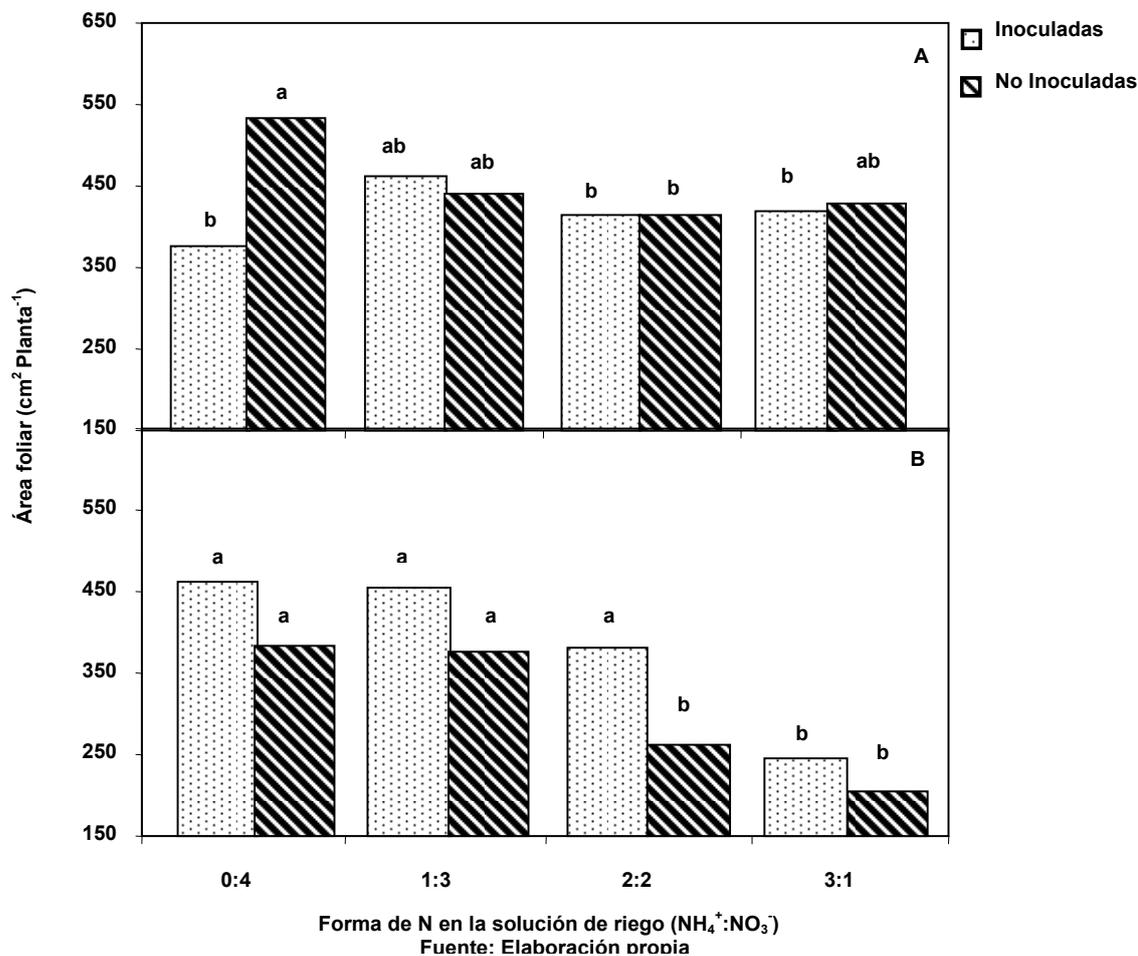


Figura 15 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

d. Asimilación de CO₂.

En la primera fecha de muestreo la forma de N en la solución de riego presenta diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Las plantas no inoculadas y fertilizadas con NO₃⁻ como principal fuente de N en la solución nutritiva, muestran mayor asimilación de CO₂, comparadas con las plantas inoculadas (Fig. 16a).

Tabatabaei *et al.*, (2006) establece que el incremento de NH_4^+ en la solución de riego, progresivamente reduce la tasa fotosintética en plantas de fresa, debido al efecto de la forma NH_4^+ en la actividad enzimática de la fotosíntesis, lo que incrementa la cantidad de proteína conteniendo NH_4^+ en la hoja, desencadenando desunión en el transporte de electrones para la fosforilación en los cloroplastos, reduciendo la actividad fotosintética. Britto *et al.*, (2002) concluyo que las plantas son susceptibles a la forma NH_4^+ como fuente de N, reduciendo la tasa fotosintética y que la baja fijación de CO_2 es debido a falta de rubisco y NADP o bien a los cambios de la estructura del cloroplasto causado por el NH_4^+ .

Las plantas de fresa fertilizadas con las proporciones de NH_4^+ - NO_3^- como fuente de N y la presencia de *G. intraradices*, no muestran diferencias estadísticas en la segunda fecha de muestreo (Fig. 16b).

Resultados similares encontraron Snellgrove *et al.*, (1986) quienes determinaron que la diferencia en la tasa fotosintética entre plantas de avena inoculadas y no inoculadas, tiende a disminuir y desaparecer al transcurrir el tiempo (29-56 días), lo cual atribuyen al estado de la planta y a una acelerada infección por parte del hongo en la raíz de la planta.

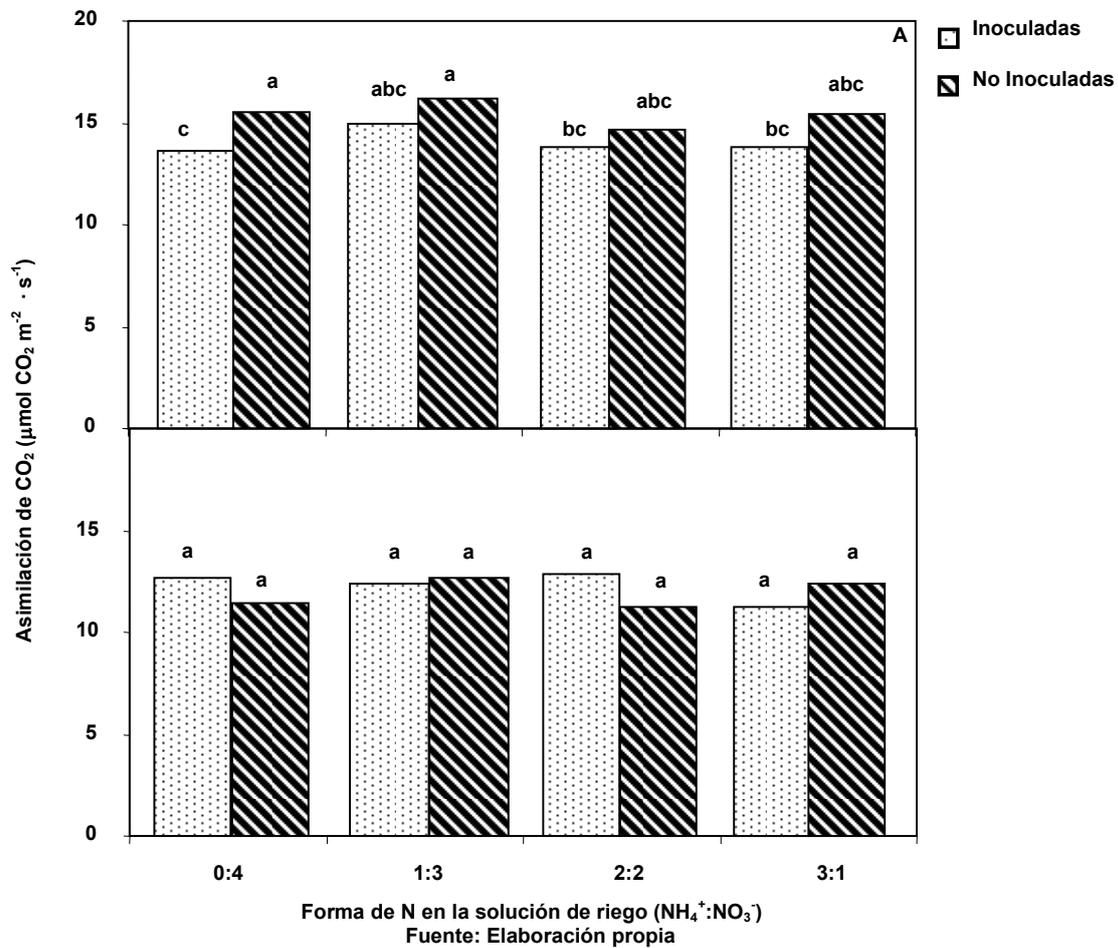


Figura 16 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO₂ de las plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

e. Contenido de nitrógeno en hoja.

Al analizar los resultados obtenidos de la forma de N en la solución de riego y de la inoculación con *G. intraradices* sobre el contenido de N en hojas en la primera y segunda fecha de muestreo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 17a y 17b). Posiblemente por no tener preferencia por la forma de

N (NH_4^+ - NO_3^-) en la solución de riego, siempre y cuando se encuentre disponible para la planta y hongo.

Sin embargo, Yoshida *et al.*, (2001) determinaron que la concentración de N en la parte aérea disminuye de forma significativa en el tejido de plantas inoculadas y mantenidas con NH_4^+ como fuente de N en la solución de riego, comparadas con las plantas no inoculadas.

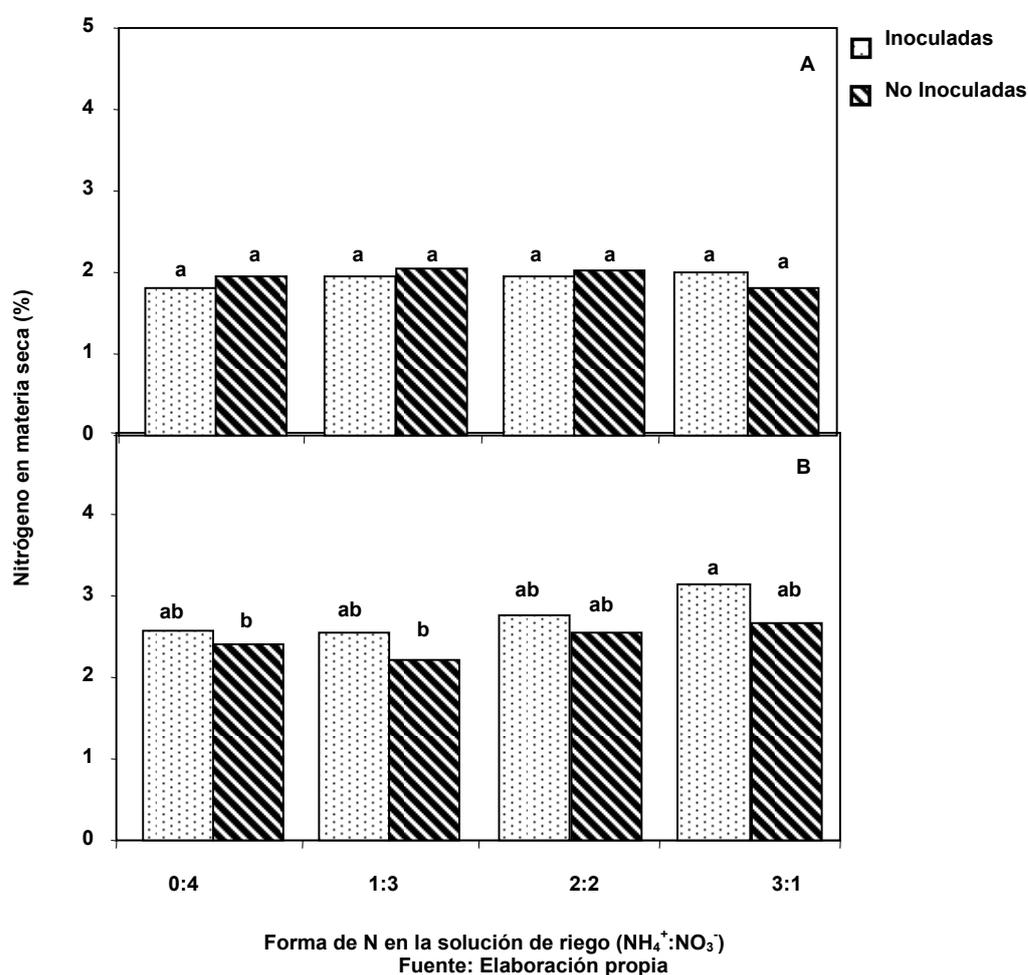


Figura 17 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la hoja de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

f. Contenido de nitrógeno en corona.

La forma de N en la solución de riego y la presencia del hongo micorrízico *G. intraradices*, no afecta estadísticamente el contenido de N en materia seca de la corona en la primera fecha de muestreo (Fig. 18a).

La forma de N en la solución de riego da un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la segunda fecha de muestreo. Las plantas fertilizadas con 3-1 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) como fuente de N, incrementaron su contenido de N en la corona, comparado con el resto de los tratamientos (Fig. 18b).

Estos resultados sugieren un efecto favorable de la forma NH_4^+ de N en la solución de riego sobre el contenido de N en la corona de las plantas de fresa, este resultado puede ser debido a que en el caso del NH_4^+ como fuente de N, se incorpora inmediatamente en amino ácido (Tischner 2000) y almacenado para su posterior uso.

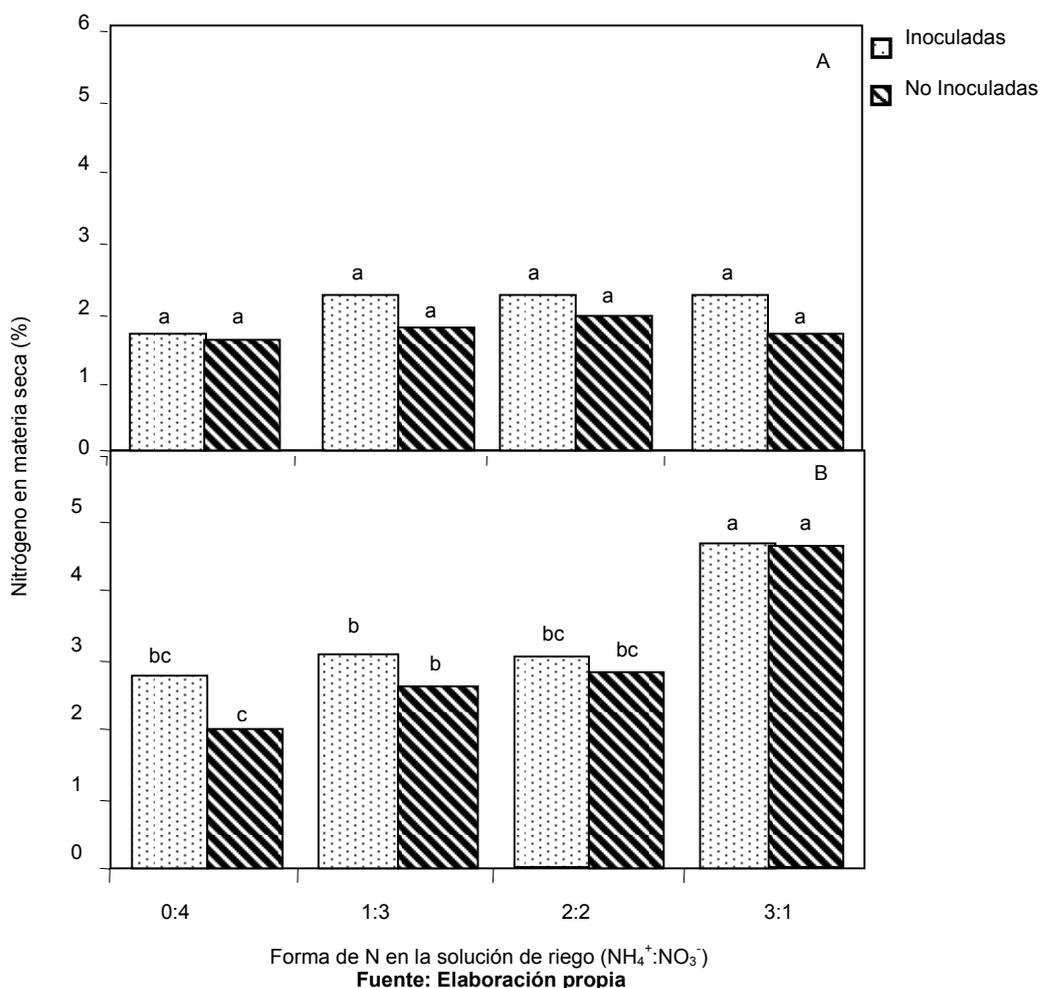


Figura 18 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la corona de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

g. Contenido de nitrógeno en raíz.

Las plantas de fresa en la primera fecha de muestreo, no muestran diferencias estadísticas en el contenido de N en la raíz, al considerar los resultados de la forma de N en la solución de riego y el efecto de *G. intraradices* (Fig. 19a).

Los resultados de contenido de N en la raíz de la planta de fresa, en la segunda fecha de muestreo, muestran un efecto estadísticamente significativo ($P \leq$

0.05). Las plantas de fresa inoculadas y fertilizadas con una proporción 2-2 (NH_4^+ - NO_3^-) como fuente de N, contienen mayor cantidad de N en la raíz (Fig. 19b).

Resultados obtenidos por Bailey (1999) estableció que en la última fase de crecimiento las plantas *Agrostis stolonifera* fertilizadas con NH_4^+ movilizan 25% de N de la parte aérea a la raíz y que más del doble de los carbohidratos son almacenados en este órgano. Yoshida *et al.*, (2004) encontraron que en plantas inoculadas y fertilizadas con NH_4^+ y NO_3^- como fuente de N en la solución de riego, contienen mayor concentración de N en raíz.

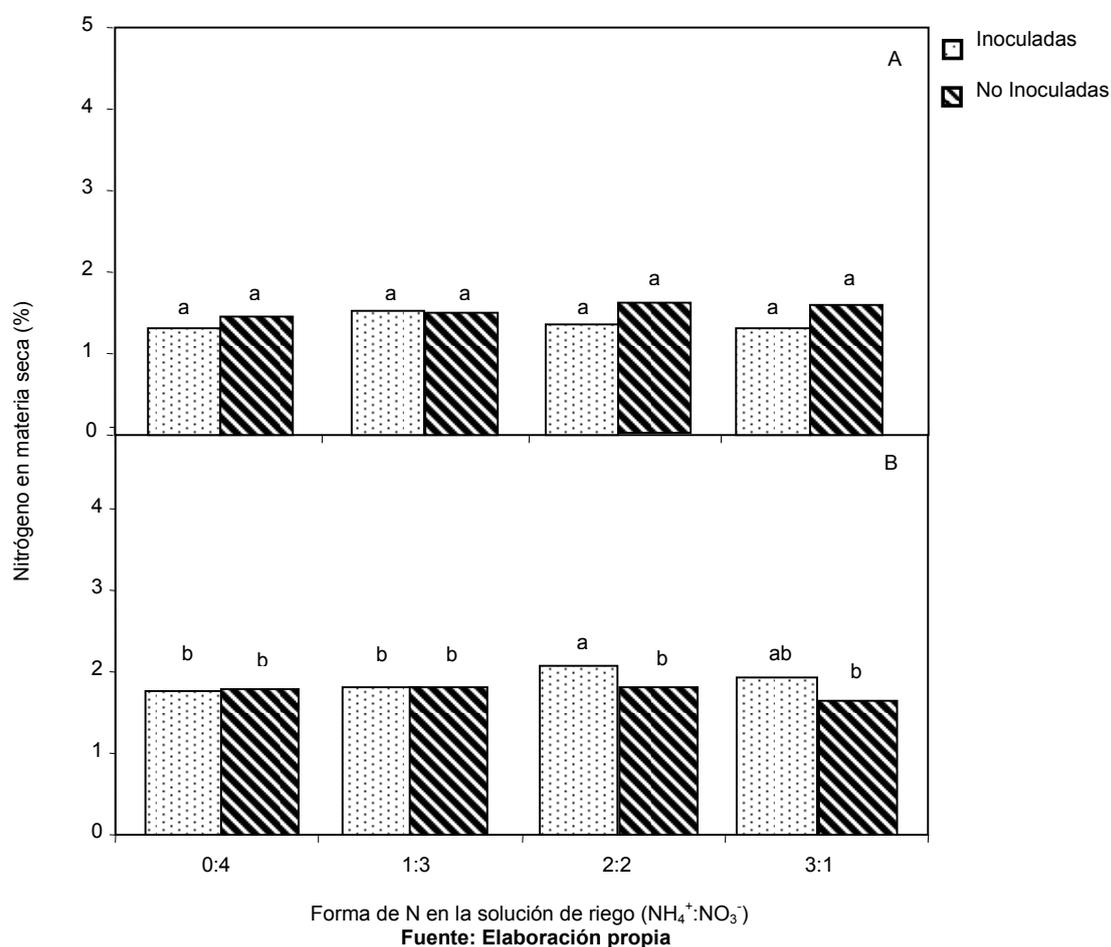
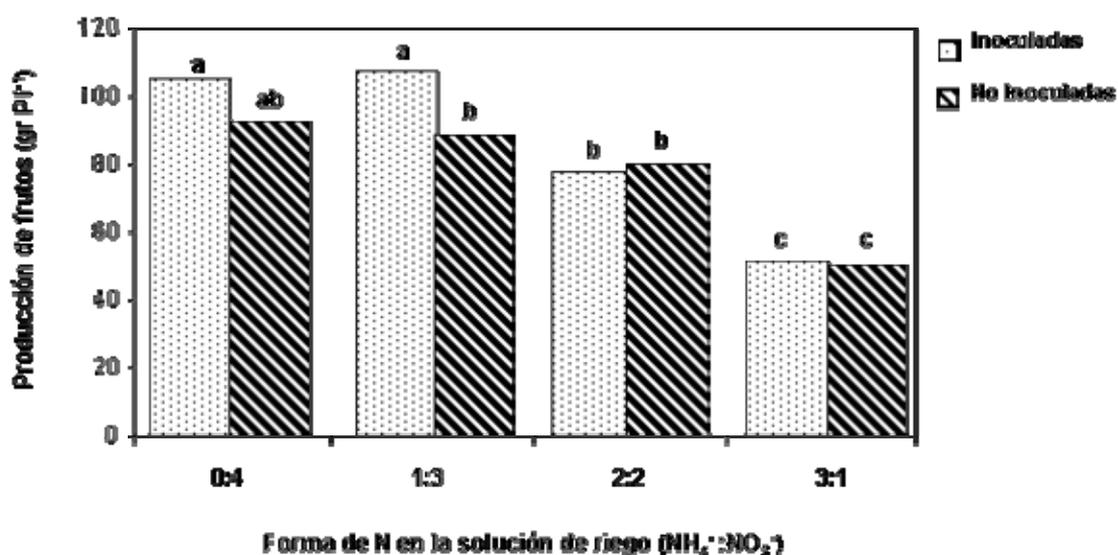


Figura 19 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de N en la materia seca de la raíz de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

h. Producción de frutos.

La forma de N en la solución nutritiva y la presencia del hongo micorrízico dan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Donde las plantas inoculadas y fertilizadas con las proporciones 0-4 y 1-3 ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$) como fuente de N, incrementan la producción de frutos (Fig. 20). La producción de frutos tiende a disminuir conforme se adiciona NH_4^+ en la solución de riego.

Tabatabaei *et al.*, (2006) determinó que la producción de frutos de plantas de fresa se incrementa significativamente cuando las plantas son fertilizadas con una proporción 1-3 ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$) como fuente de N en la solución de riego.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Efecto de la inoculación con *G. intraradices* y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en de plantas de fresa durante la etapa de fructificación. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

El porcentaje de colonización se incrementa con la forma 0-4 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) como fuente de N en la solución de riego. Al adicionar una parte de NH_4^+ inhibe el establecimiento del hongo.

Al analizar los resultados de las variables evaluadas en la primera fecha de muestreo, se observa que la forma 0-4 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) como fuente de N en la solución de riego, genera mayor rendimiento en materia fresca de parte aérea, área foliar y asimilación de CO_2 . Resultado debido a que la forma NO_3^- de N se encuentra fácilmente disponible indica la preferencia por la forma de N ya mencionada para el crecimiento de la planta de fresa (Tabatabaei *et al.*, 2006).

La aplicación de las formas 1-3 y 0-4 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) como fuente de N, generan mayor rendimiento de frutos en plantas de fresa inoculadas, comparado con el resto de los tratamientos nitrogenados, lo que indica que la combinación equilibrada de las formas de N en la solución de riego, incrementa producción de frutos en plantas de fresa (Tabatabaei *et al.*, 2006).

En la segunda fecha de muestreo la forma 2:2 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) de N en la solución de riego y la presencia de *G. intraradices* en plantas de fresa, tienen mayor rendimiento en las variables de materia fresca de parte aérea, área foliar y contenido de N en materia seca de raíz. Este resultado sugiere que una combinación equilibrada de las formas de N en la solución de riego, establece mayor crecimiento de la planta de fresa (Tabatabaei *et al.*, 2006).

iv. Conclusiones.

El establecimiento del hongo micorrízico en las raíces de la planta de fresa se inhibe con la presencia de NH_4^+ en la solución de riego, sin embargo cuando la fuente de N es NO_3^- incrementa la colonización.

La forma en que se suministra el N en la solución de riego, afecta el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) cv "Aromas" asociadas con hongos micorrízicos (*Glomus intraradices*).

Durante la primera floración de las plantas de fresa es conveniente suministrar NO_3^- como fuente de N en la solución de riego, lo que genera crecimiento y desarrollo.

En la etapa de fructificación, las plantas de fresa inoculadas y fertilizadas con las proporciones 0-4 y 1-3 de $\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$, como fuente de N en la solución de riego, incrementan la producción de frutos.

Al término de la primera etapa de producción es conveniente adicionar una forma 2-2 ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) como fuente de N, así como *G. intraradices*, lo cual da crecimiento y almacenamiento de reservas para la segunda producción de frutos.

CAPITULO III

Evaluación de la contribución de *Glomus intraradices*, concentración 1.0 y 8.0 mM y de las formas NH_4^+ - NO_3^- : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1 de nitrógeno sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa.

i. Resumen

Al evaluar el efecto de la interacción entre un hongo micorrízico, *Glomus intraradices*, la concentración de nitrógeno (N) y la forma amonio-nitrato (NH_4^+ - NO_3^-) como fuente de N en la solución de riego, sobre el crecimiento y producción de plantas de fresa *Fragaria x ananassa* cv. "Aromas" cultivadas en hidroponía, se consideraron dos niveles de micorrización (inoculadas y no inoculadas), dos concentraciones de N (1 mM y 8 mM) y cuatro formas de N (NH_4^+ - NO_3^- : 0-4, 1-3, 2-2 y 3-1).

Los efectos simples de la concentración y forma de N fueron explicados en los capítulos I y II respectivamente. Al no observar efectos de la interacción de segundo orden, donde interactúan los factores presencia de *G. intraradices*, la concentración y forma de N, se presentan los resultados obtenidos en la interacción de primer orden. La colonización del hongo se ve favorecida con bajos niveles de N y la forma NO_3^- como fuente de N. La producción de frutos es afectada negativamente, cuando las plantas son cultivadas con 8 mM de N y con el incremento de la forma NH_4^+ como fuente de N en la solución de riego.

Palabras clave: micorriza, fertilización nitrogenada, fresa.

ii. Abstract

In assessing the effect of the interaction with a micorrhizae, *Glomus intraradices*, the concentration of nitrogen (N) and form amonio-nitrato ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$) as a source of N in solving irrigation on the growth and production of plant strawberry *Fragaria x ananassa* cv. "Aromas" grown in hydroponics, were considered two levels of micorrización (inoculated and not inoculated), two concentrations of N (1 mM and 8 mM) and four types of N ($\text{NH}_4^+ \text{-NO}_3^-$: 0-4, 1-3, 2-2 and 3-1). Interaction with the fungus micorrízico arbuscular *G. Intraradices* and nitrogen treatments had no effect on plant growth strawberry *Fragaria x ananassa* var. "Aromas." The colonization of the fungus is facilitated with low levels of N and how NO_3^- as a source of N. The fruit production is adversely affected when the plants are cultivated with 8 mM N and with the increase in the NH_4^+ as a source of N in solving irrigation.

Keywords: Mycorrhizal, nitrogen fertilization, strawberry.

iii. Resultados y discusión.

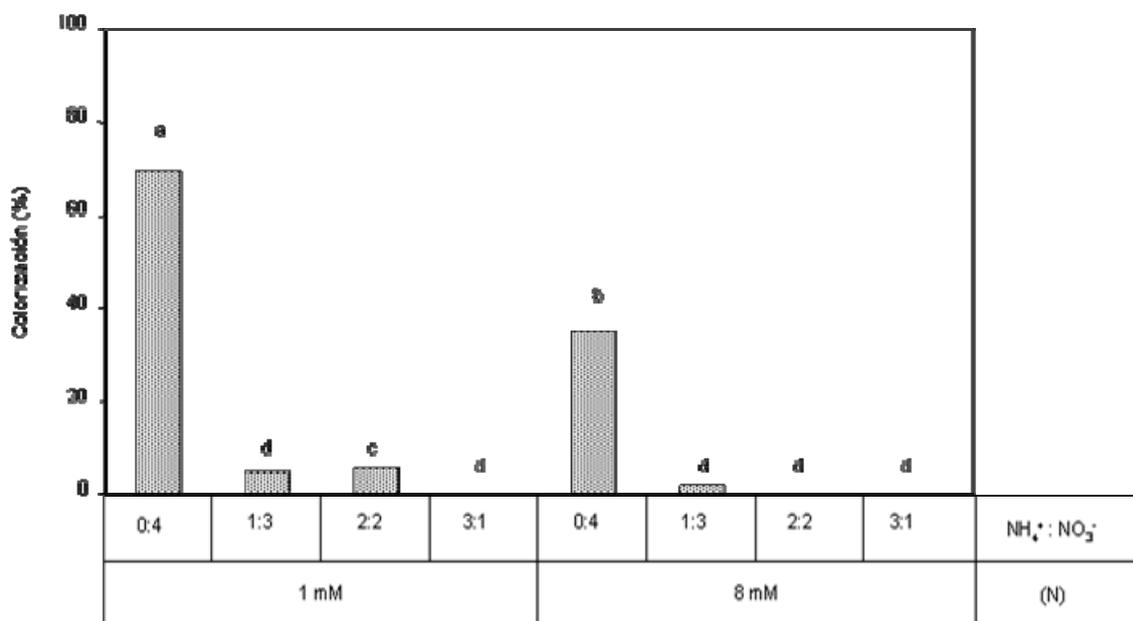
Al analizar los resultados de la interacción entre la inoculación, la concentración y la forma de N en la solución de riego se observó que no genera efectos estadísticamente significativos sobre las variables estudiadas. Sin embargo en algunas variables se observaron interacciones entre dos factores

a. Porcentaje de Colonización.

Los resultados del efecto simple de la concentración y la forma de N en la solución de riego para esta variable, se presentaron en los capítulos I y II respectivamente.

La interacción entre concentración y forma de N, estableció diferencias significativas ($P < 0.000$) entre los tratamientos (Fig. 21). Las plantas cultivadas con 1 mM de N reducen su porcentaje de colonización a medida que se incrementa la forma NH_4^+ como fuente de N, mientras que con 8 mM de N el porcentaje de colonización tuvo una caída más pronunciada en presencia de NH_4^+ en la solución de riego.

Estos resultados sugieren que el establecimiento de *G. intraradices* en plantas de fresa se ve favorecida cuando interactúan bajas concentraciones de N y la forma NO_3^- como fuente de N. Resultados similares fueron encontrados por Niem *et al.*, (1992), quienes determinaron que generalmente bajos niveles de colonización se deben a elevadas aplicaciones de fertilizantes. Por su parte Baltruschat (1986) sugirió que la micorriza se ve beneficiada con bajos niveles de N y que la colonización se ve afectada al incrementar la dosis de N en el cultivo de avena. Yoshida *et al.*, (2004) observaron que las plantas prefieren la forma NO_3^- como fuente de N.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el porcentaje de colonización en raíces de plantas de fresa a los 147 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

b. Materia fresca de parte aérea.

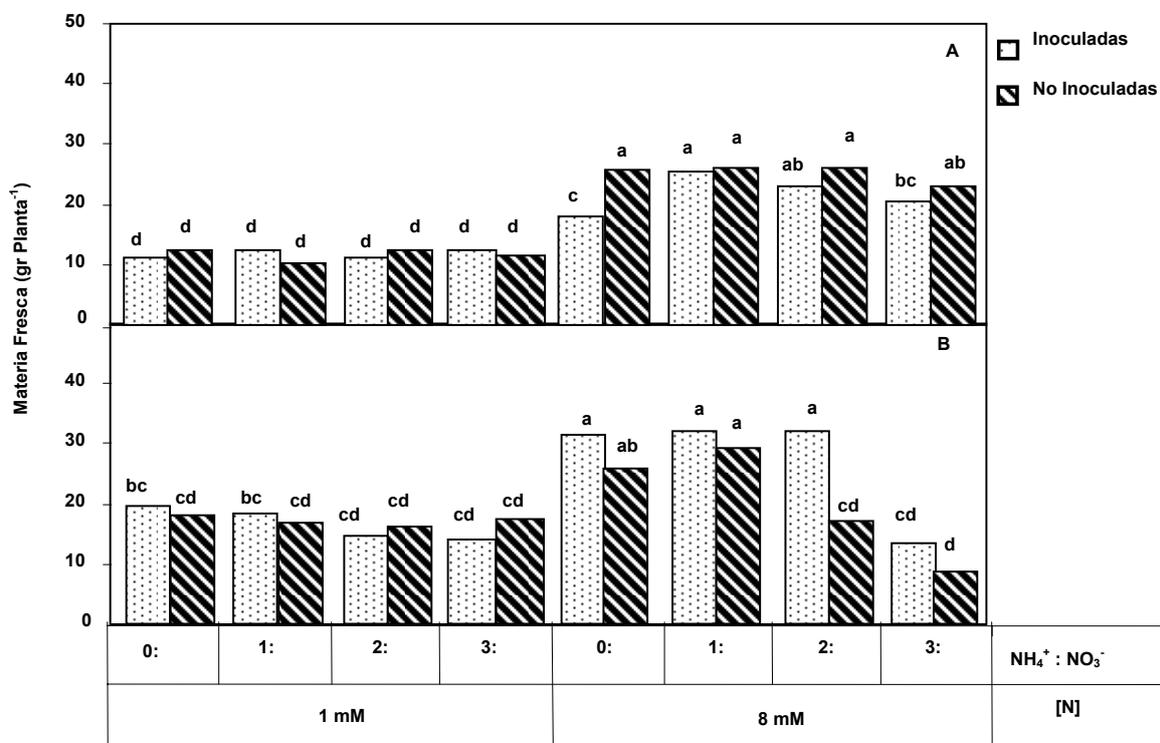
El efecto simple de la inoculación y concentración de N en la solución de riego, se presentó en el capítulo I.

A los 147 ddp (primera fecha) la interacción entre inoculación y la concentración de N en la solución de riego, estableció diferencias estadísticas ($P=0.012$). Las plantas inoculadas tuvieron resultados similares que las no inoculadas cuando se mantuvieron con el tratamiento 1 mM de N, mientras que con el tratamiento 8 mM de N las plantas no inoculadas tuvieron mayor rendimiento de materia fresca de parte aérea que las inoculadas (Fig. 22a).

El efecto simple de inoculación y de la concentración de N en la solución de riego, fue estadísticamente significativo, tal como se explicó en el capítulo I. De la misma manera se observaron diferencias estadísticas significativas, en el efecto simple al considerar la forma de N en la solución de riego, como se presentó en el capítulo II.

Al transcurso de 267 ddp (segunda fecha) las plantas fertilizadas con 1 mM de N no mostraron diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, las plantas inoculadas y cultivadas con 8 mM de N en la solución de riego, desarrollaron más materia fresca de parte aérea comparadas con las plantas no inoculadas, estableciendo diferencias estadísticas ($P=0.008$) entre los tratamientos (Fig. 22b).

En trabajos previos se determinó que la biomasa aumenta con el incremento de N (Falkengren-Grerup 1995; Sadat *et al.*, 2004; Tabatabaei *et al.*, 2006) y que la presencia de NO_3^- como fuente de N en la solución de riego favorece el crecimiento de las plantas (Yoshida *et al.*, 2004; Yoshida *et al.*, 2001; Tischner 2000), comparado con la presencia de NH_4^+ como única fuente de nitrógeno.



Fuente: Elaboración propia

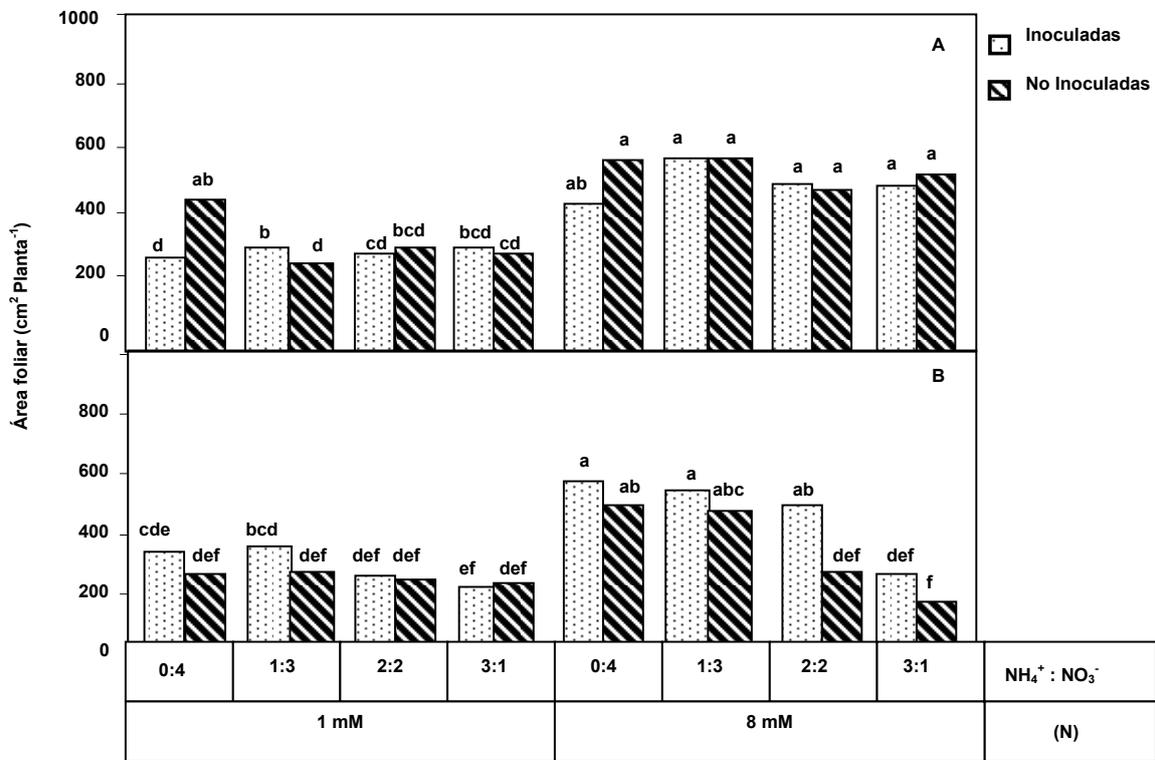
Figura 22 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de materia fresca de parte aérea en plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

c. Área foliar.

En la primera fecha, se observó que la variable responde al efecto simple de concentración de N analizado en el capítulo I.

Al analizar los resultados no se encontró efecto de interacción entre los factores sobre los resultados de área foliar (Fig. 23a).

La interacción entre concentración y forma de N en la segunda fecha, resulto estadísticamente significativa ($P=0.014$) sobre esta variable. Al adicionar NH_4^+ en la solución de riego, el área foliar tiende a disminuir en los tratamientos cultivados con 8 mM de N (Fig. 23b). Mientras que en las plantas con 1 mM de N, los resultados se mantuvieron relativamente constantes entre las diferentes proporciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ como fuente de nitrógeno. Allen (2003) encontró que hay una tendencia a disminuir el área foliar con el incremento proporcional de NH_4^+ en la solución de riego.

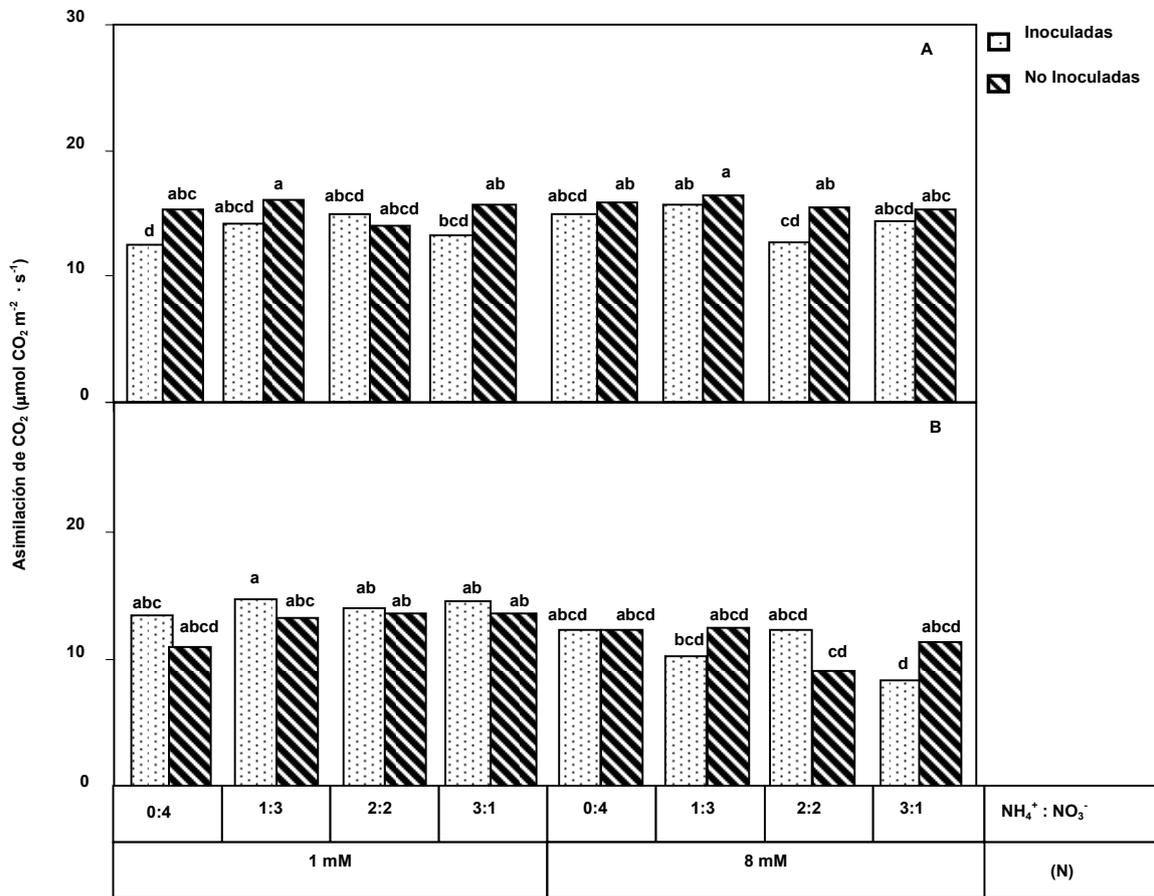


Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre el área foliar de plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

d. Asimilación de CO₂.

Los resultados demostraron que esta variable responde a la inoculación con el hongo micorrízico de forma negativa, tal como se presentó en el capítulo I. En la primera fecha no hubo efecto estadístico en la interacción de los factores analizados (Fig. 24a) de igual forma en la segunda fecha (Fig. 24b), donde la variable es únicamente afectada por el efecto simple de la concentración de N en la solución de riego, como se presento en el capítulo I. Allen *et al.*, (2003) observan que la concentración de N afecta la tasa fotosintética generando incremento de la tasa de carbono (C) total, mecanismo principal para la fotosíntesis.



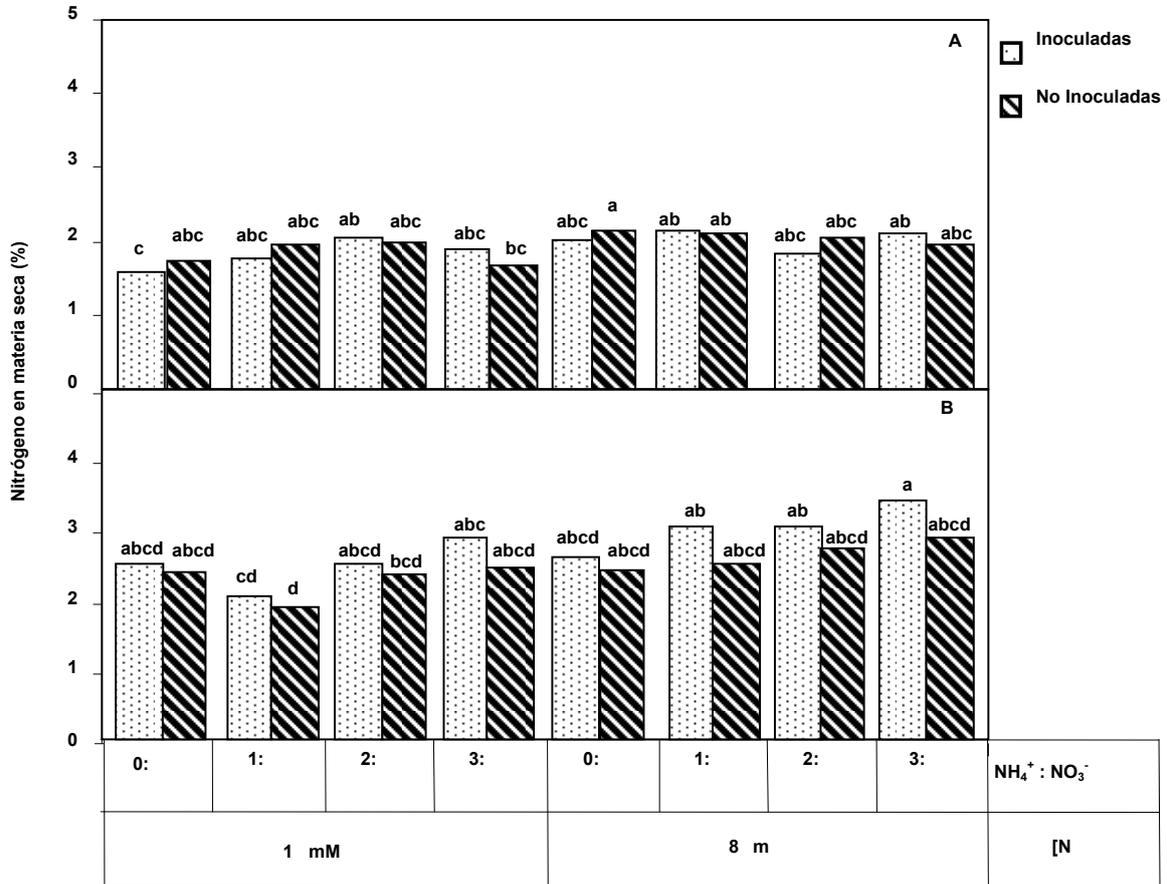
Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma de nitrógeno en la solución de riego, sobre la asimilación de CO₂ de las plantas de fresa a los 147 ddp (A) y 267 ddp (B). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

e. Contenido de nitrógeno en hoja.

La variable fue afectada por la concentración de N en la solución de riego, como ya se explico en el capítulo I.

En la primera y segunda fecha no se observaron efectos estadísticos de la interacción de los factores sobre la variable (Fig. 25a y 25b). Resultados similares encontraron Yoshida *et al.*, (2004) quienes determinan que la forma de N suministrada a *Artemisa californica* y *Bromus madritensis*, no genera diferencias estadísticas en el contenido de N de parte aérea, y que la presencia de la micorriza propicia una mayor concentración de N en la hoja (Guo *et al.*, 2006).



Fuente: Elaboración propia

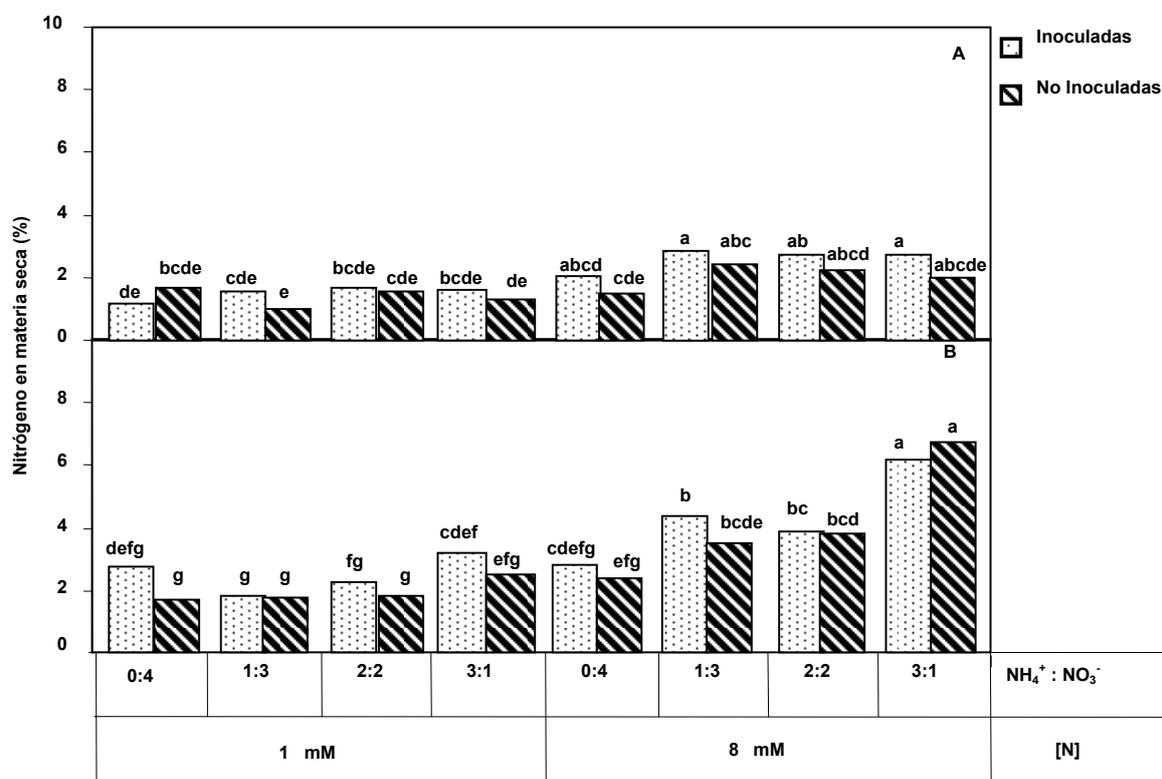
Figura 25 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la hoja de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

f. Contenido de nitrógeno en corona.

En la primera fecha se observó que la concentración de N en la solución de riego tiene un efecto positivo sobre la variable, tal como se presentó en el capítulo I. Sin embargo, no se observó interacción entre los factores (Fig. 26a).

Esta variable en la segunda fecha, es modificada por los efectos simples de concentración de N ($P < 0.000$) y forma de N ($P < 0.000$) en la solución de riego, tal y como se presentaron en los capítulos I y II, respectivamente.

Los resultados mostraron interacción entre la concentración y la forma de N ($P < 0.000$). Las plantas cultivadas con 8 mM de N y el incremento de la forma NH_4^+ como fuente de N, aumentaron el contenido de N en corona (Fig. 26b). La corona es un órgano de almacenamiento de nutrientes y la forma NH_4^+ es incorporada y almacenada como amino ácidos para su posterior uso (Tischner 2000).



Fuente: Elaboración propia

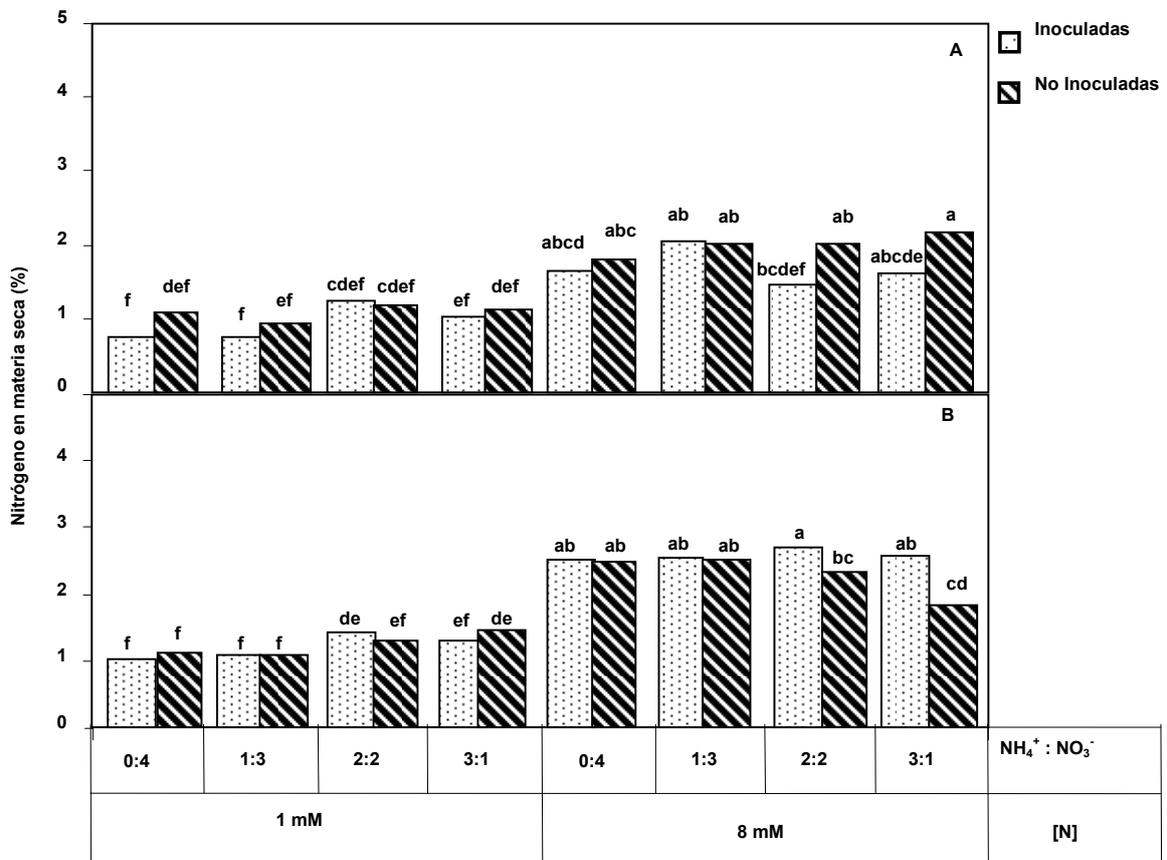
Figura 26 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la corona de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

g. Contenido de nitrógeno en raíz.

Esta variable fue afectada por la concentración de N en la primera fecha, situación explicada en el capítulo I. Ninguno de los factores estudiados modifica el efecto de los otros sobre la variable analizada (Fig. 27a).

En la segunda fecha los efectos simples de inoculación y concentración de N en la solución de riego sobre esta variable, se observan y describen en el capítulo I.

Los resultados de la interacción de inoculación y concentración de N mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P=0.015$). Las plantas de fresa inoculadas y cultivadas con 8 mM de N en la solución de riego, presentaron mayor contenido de N en raíz. De la misma forma la interacción entre concentración y forma de N generaron diferencias estadísticamente significativas ($P=0.007$). El incremento de la concentración de N y NH_4^+ como fuente de N, disminuyeron el contenido de N en la raíz (Fig. 27b).



Fuente: Elaboración propia

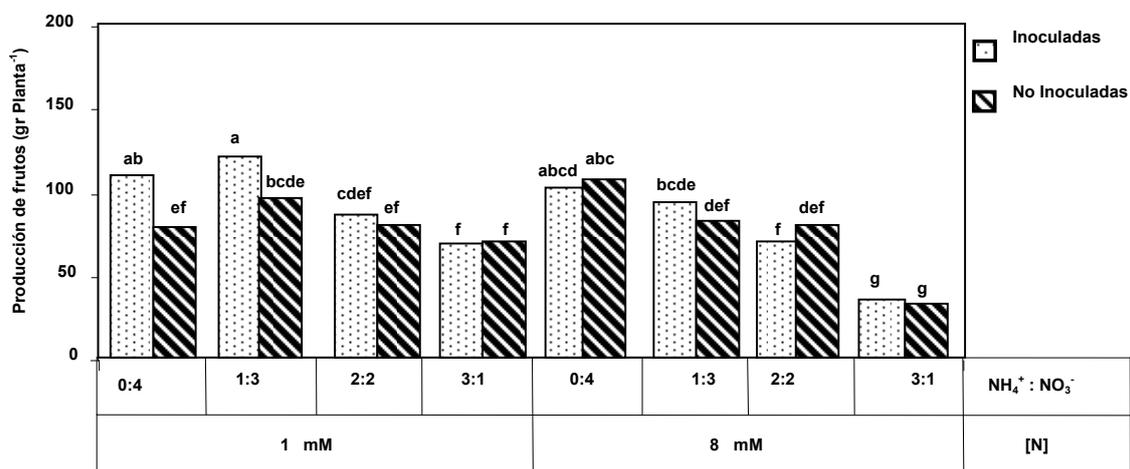
Figura 27 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre el contenido de nitrógeno en la materia seca de la raíz de plantas de fresa a los 267 ddp. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

h. Producción de frutos.

Esta variable fue afectada por el incremento de la concentración de N y a la toxicidad de la forma de N suministradas en la solución de riego, tales resultados fueron explicados en los capítulos I y II respectivamente.

La interacción entre concentración y forma de N en la solución de riego, generaron diferencias estadísticamente significativas ($P=0.001$). Las plantas

cultivadas con 1 mM de N tendieron a disminuir ligeramente su producción al incrementar la proporción de NH_4^+ como fuente de N, mientras que con 8 mM de N la caída de producción fue más drástica, debido al incremento de la proporción de NH_4^+ en la solución de riego (Fig. 28). Resultados similares fueron encontrados por Tabatabaei *et al.*, (2006) quienes establecieron que altas concentraciones de las formas NH_4^+ y NO_3^- , reducen la producción de frutos y que con la combinación 1:3 ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) como fuente de nitrógeno, se obtiene mejores resultados para esta variable, debido a que la forma NH_4^+ como fuente de N, es favorable cuando no excede el 50% del total del N suministrado en la solución de riego (Sadat 2004).



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Efecto de la presencia de *G. intraradices*, de la concentración y de la forma del nitrógeno en la solución de riego, sobre la producción de frutos en plantas de fresa durante la etapa de fructificación. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

iv. Conclusiones.

La interacción con inoculación, la concentración y la forma de N en la solución de riego, no genera diferencias estadísticamente significativas, sobre la asimilación de CO₂, materia fresca de parte aérea, área foliar y contenido de N en hoja en plantas de fresa.

La interacción de 1 mM de N y la forma NO₃⁻ como fuente de N, genera mayor colonización; el contenido de N en corona se incrementa con la interacción 8 mM de N y la forma NH₄⁺ como fuente de N; la interacción 8 mM de N y el incremento de la forma NH₄⁺ como fuente de N en la solución de riego, genera disminución del contenido de N en la raíz y en la producción de frutos de plantas de fresa.

XI CONCLUSIONES GENERALES.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que con altas aportaciones de N en la solución de riego se obtiene un mejor desarrollo vegetativo de la planta de fresa y la inoculación con *G. intraradices* no tiene efecto en esta etapa. En la etapa productiva, una baja concentración de N en la solución de riego y la presencia de *G. intraradices*, favorece la producción de frutos, debido que con estas condiciones se producen fotosintatos, los que se utilizan en la producción de frutos.

Con la forma NO_3^- como fuente de N en la solución de riego se obtiene un mayor desarrollo y producción de frutos de la planta de fresa cultivada. Al adicionar la forma NH_4^+ como fuente de N en la solución de riego, el desarrollo vegetativo y la producción tienden a disminuir, debido a que la forma NH_4^+ como fuente de N es tóxica para la planta.

La interacción de la inoculación, la concentración y la forma de N en la solución de riego, no genera diferencias en el desarrollo y producción de frutos de la planta de fresa.

El efecto de la micorriza no se observa en la etapa de desarrollo de la planta, si no hasta en la etapa de producción, debido a que en la primera etapa el hongo se establece y no ayuda a la planta, posteriormente el beneficio se observa en la producción de frutos.

XII PERSPECTIVAS.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que las plantas inoculadas y fertilizadas con 8 mM obtienen un mayor desarrollo, mientras que las plantas micorrizadas a 1 mM tuvieron una mejor producción de frutos. En cuanto a la forma de N en la solución de riego, es el NO_3^- en la solución de riego que da a la planta inoculada mejor desarrollo y producción de frutos.

Por lo que se sugiere evaluar el efecto del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, sobre la calidad de la producción de plantas de fresa cultivadas en disponibilidad alta y baja de nitrógeno y cuatro diferentes proporciones de las formas NO_3^- y NH_4^+ .

Así como, evaluar el efecto del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, disponibilidad alta y baja de nitrógeno y cuatro diferentes proporciones de las formas NO_3^- y NH_4^+ , sobre desarrollo y producción de plantas de fresa cultivadas en suelo esterilizado y no esterilizado de las regiones productoras en Michoacán.

También es conveniente la determinación de hongos micorrizicos arbusculares nativos de las zonas donde se cultiva la fresa en el estado de Michoacán, determinando las condiciones y diversidad en que se encuentran presentes en el campo.

XIII LITERATURA CITADA.

Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. 1999. **Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas.** Terra 17(3): 179-191.

Alarcón A.; Ferrera-Cerrato R.; González-Chávez M.C. y Villegas-Monter A. 2000. **Hongos micorrizicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo in vitro.** Terra. 18 (3):211-218.

Allen M. F., Swenson W., Querejeta J. I., Egerton-Warburton L. M. and Treseder K. K. 2003. **Ecology of mycorrhizae: a conceptual framework for complex interations among plants and fungi.** Annu. Rev. Phytopathol. 41: 271-303.

Allen, M. F. 1991. **The Ecology of Mycorrhizae.** Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Anónimo "Taxonomia de *Fragaria* sp." <http://www.wikipedia.org/wiki/fragaria> (Accesada en octubre del 2007).

Azcón, C., Barea, J.M. 1.997. **"Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture significance and potentials"** Scientia Horticulturae, 68, p1-24.

Bago B., Pfeffer E. P. and Shachar-Hill Y. 2000. **Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas.** Plant Physiol 124 :949-958.

Baltruschat H. 1986. **Influence of N-fertilization and type on the ocurrente of VA micorriza in an internacional nitrogen long-term experiment.** Mycorrhizae: physiology and genetics. 1st ESM, Dijon, INRA, Paris.

Bailey J. S. 1999. **Varying the ration of ¹⁵N-labelled ammonium and nitrate-N supplied to creeping bent: effects on nitrogen absorption and assimilation, and plant growth.** New Phytol. 143: 503-512.

Bidwell R. G. S. 1990. **Fisiología vegetal**. Editor AGT. Primera edición. México. 784 pp.

Blanco A. F. y A. Salas E. 1997. **Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica**. Agronomía Costarricense 21(1):55-67.

Bonomelli C., Cistena D. y Recine C. 2005. **Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición mineral de *Echinacea purpurea***. Cien. Inv. Agr. 32(2) 105-112.

Brazanti C. E. 1989. **La Fresa**. Ediciones Mundi-Prensa. España. 386 p.

Britto D. V. y Kronzucker H. J. 2002. **NH₄ toxicity in higher plants: a critical review**. J. Plant Physiol. 159 567-584.

Bull T. C.; Muramoto J.; Koike T. S.; Leap J.; Shennan C. and Goldman P. 2005. **Strawberry cultivars and mycorrhizal inoculants evaluated in California organic production fields**. On line. Crop Management doi: 10.094/CM-2005-0527-02-RS.

Cannell M. G. R. and Thornely J. H. M. 2000. **Nitrogen States in Plant Ecosystems: A Viewpoint**. Annals of Botany 86: 1161-1167.

Cárdenas N. R., López, P. L.; Lobit, P.; Ruiz, C. R. 2005. **Efecto de la fuente de nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de plantas de fresa**. Memoria Congreso de Investigación Científica 2005. México.

Cárdenas-Navarro R., Adamowics S, and Robin P. 1998. **Modelling diurnal nitrate uptake in young tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants using a homeostatic model**. Act. Hort. 456: 247-253.

Cárdenas-Navarro. R.; Sánchez-Yáñez J. M.; Farías-Rodríguez R.; Peña-Cabriales J. J. 2004. **Los aportes de nitrógeno en la agricultura**. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(2):173-178.

Cárdenas-Navarro R., López, P. L.; Lobit P.; Ruiz-Corro R. and Castellanos-Morales V. C. 2006. **Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants.** Journal of Plant Nutrition 29: 1699-1707.

Carreón-Abud, Y. 2004. **El uso de la micorriza arbuscular en los sistemas agrícolas.** Resúmenes del IV Symposium Nacional y II Symposium Iberoamericano de la Simbiosis Micorrízica. Morelia, Michoacán, México. 100 p.

Castellanos M. V. del C. 2007. **La interacción *Glomus intraradices*, fertilización nitrogenada y su efecto sobre el crecimiento, el estado nitrogenado y la calidad de frutos de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cv aromas, cultivadas en hidroponía.** Tesis doctorado. UMSNH. 99 p.

Chávez G. M. C. and Ferrera-Cerrato R. 1990. **Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on tissue culture derived plantlets of strawberry.** HortScience 25(8):903-905.

Cliquet J. B. and Stewart R. G. 1993. **Ammonia assimilation in *Zea mays* L. infected with a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatum*.** Plant physiol. 101: 865-871.

Cooke G. W. 1983. **Fertilización para rendimientos máximos.** Editorial Continental. 383 pp.

Darnell R. L. and Stutte G. W. 2001. **Nitrate concentration effects on NO₃-N uptake and reduction, growth and fruit yield in strawberry.** J. Am. Soc. Hortic. Sci. 126(5) 560-563.

Distrito de Riego (DDR)-088, Zamora Michoacán. 2004. **Estadística de superficie, producción y costos de los cultivos agrícolas,** Michoacán, México.

Escalante, Linares Omar. 2003. **Diagnóstico de las necesidades de N en el cultivo de fresa (*Fragaria ananassa* Duch) variedad aromas.** Tesis licenciatura. UMSNH. 2003.

Falkengren-Grerup U. 1995. **Interspecies differences in the preference of ammonium and nitrate in vascular plants.** *Oecologia* 102: 305-311.

Fundación Produce, Michoacán. 2004. **¡Que verde es! Del campo y para el campo.** 4: 1-20.

González-Chávez M. Del C., Ferrera-Cerrato, R. y Villegas-Monter, A. 1992. **La micorriza vesículo arbuscular y la aplicación de ácido giberélico en la propagación vegetativa de la fresa.** *Agrociencia Serie Agua-Suelo-Clima*. 3(1):107-115.

Guo T., Zhang J., Christie P and Li X. 2006. **Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and ammonium:nitrate ratios on growth and pungency of onion seedlings.** *Journal of Plant Nutrition*. 29: 1047-1059.

Govindarajulu M.; Pfeffer E. P.; Jin H.; Abubaker J.; Douds D. D.; Allen W. J. Bucking H.; Lammers J. P.; & Shachar-Hill Y. 2005. **Nitrogen transfer in the mycorrhizal symbiosis.** *Nature* 435 (9):819-823.

Gryndler M., Vosátka M., Hrselova H., Catska V., Chvátalov's I. and Jansa J. 2002. **Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria on growth and mineral nutrition of strawberry.** *Journal of Plant Nutrition*. 25: 1341-1358.

Gutiérrez, J. H., 1992. **Propagación de Fresa in vitro.** Tesis Licenciatura. UMSNH.

Haynes, R.J. 1986. **Mineral Nitrogen in the plant-soil system.** Academic Press inc., New Zeland. 303-308 pp.

Hawkins H.-J. and Eckhard G. 2001. **Reduced 15-nitrogen Transport Through Arbuscular Mycorrhizal Hyphae to *Triticum aestivum* L. Supplied with Ammonium vs. Nitrate Nutrition.** *Annals of Botany*. 87: 303-311.

Hernández, D. A. 1999 Act. 2004. **Aspectos generales de las micorrizas arbusculares (MA) Sustancias y Tecnologías Naturales.** Tf.: 93 467 77 19 ANE,

500645. www.terralia.com/revista14/pagina12.htm (Accesada en octubre del 2007)

INEGI. 2002. **Anuario Estadístico** 2000-2001. Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México (www.inegi.gob.mx)

Justes E., Mary B. y Meynard, J. M. 1987. **Evaluation of nitrate test indicator to improve the nitrogen fertilisation of winter wheat crops. In diagnostic procedures for crop N management.** Lemarie G. And Burns I. G. Eds INRA- Editions le Colloques. 82:93:110.

Khayyat M., Tafazoli E., Eshghi S., Rahemi M. and Rajae S. 2007. **Salinity, Supplementary Calcium and Potassium Effects on Fruit Yield and quality of Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.)** American-Euroasian J. Agric. & Environ. Sci. 2(5):539-544.

Lemaire G. 1997. **Diagnosis of the nitrogen status in crop.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany. pp. 3-43.

Lobit P, López-Pérez L, Cárdenas-Navarro R, Castellanos-Morales V. C y Ruiz-Corro R. 2006. **Effect of ammonium/nitrate ratio non growth and development of avocado plants under hydroponic conditions.** Canadian Journal of Plant Science. 99-103.

Maroto B. J. V., 1986. **Horticultura Herbácea Especial.** Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 590 pp.

Mena, V. H. G., 2001. **Calidad del fruto de *C annuum* L. Cv. Ancho san luis provenientes de plantas con micorriza bajo dos regímenes de riego.** Tesis Maestría. CINVESTAV, Unidad Irapuato, México.

Miller A. J. & Cramer M. D. 2004. **Root nitrogen acquisition and assimilation.** Plant and soil 0: 1-36.

Monroy J., Vera-Núñez J. A., Carrera M. A., Grageda-Cabrera O. A. y Peña-Cabriaes J. J. 2001. **Absorción de nitrógeno (^{15}N) y productividad del agua por el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa*) en “El Bajío”, México.** Terra 20:65-69.

Newman, E. I. 1988. **Mycorrhizal links Between Plants: Their functioning and Ecological Significance.** Academia Press Inc. London, UK.

Niemi M. y Vestberg. 1992. **Inoculation of commercially grow strawberry with VA mycorrhizal fungi.** Plant and soil 144: 133-142.

Ojeda-Real, L. A., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Grageda-Cabrera, O., Valencia-Cantero E. Y Macías-Rodríguez L. I. 2006. **Efecto de la nutrición nitríca y sistemas de riego en el sabor de la fresa.** Aceptado. Revista Chapingo, Serie Horticultura.

INCA Rural y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. 2004. Plan Rector, **Estrategia de fortalecimiento del sistema-producto fresa en el estado de Michoacán.** Morelia, Michoacán.

Ramos-Zapata J. y Guadarrama, P. 2004. **Los Hongos Micorrizógenos Arbusculares en la Restauración de Comunidades Tropicales.** Universidad y Ciencia 1:59-65. Villahermosa, Tabasco, México.

Redecker, D. 2005. **Glomeromycota. Arbuscular mycorrhizal fungi and the relative(s).** Version 01 July 2005. <http://tolweb.org/Glomeromycota/28715/2005.07.01> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org>. (Accesada en febrero 2007)

Reyes J. I. 2002. **Asociaciones biológicas en el suelo: la micorriza arbuscular (MA).** ContactoS. 44: 5-10.

Rodríguez C. J., Ochoa M. A., Valenzuela I. M. Guzmán O. J. M. y Samni Z. E. 1999. **Respuesta de la calabacita (*Cucurbita pepo* L.) a varios niveles de riego y nitrógeno bajo riego por goteo.** IX Congreso Nacional de Irrigación, Simposio 1. Culiacán, Sinaloa, México. 263-268.

Sadat T. T., Babalar M., Ebadi A., Ebrahimzadeh H. and Asgari M. A. 2004. **Effects of nitrate to ammonium ratio on yield and nitrogen metabolism of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Selva)**. International Journal of Agriculture & Biology. 6(6): 994-997.

SAGARPA 2005. **Plan rector sistema nacional fresa**. www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/sp/fresa/pm.fresa.pdf (Acceso 23 agosto 2007).

Salgado-Barreiro C. S. 2007. **Contribución del inóculo *Glomus intraradices* en el crecimiento y la distribución de carbono en plantas de *Fragaria ananassa* Duch.** Tesis de maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 70 pp.

Schortemeyer M., Feil B. and Stamp P. 1993 **Root Morphology and Nitrogen Uptake of Maize Simultaneously Supplied with Ammonium and Nitrate in a Split-root System**. Annals of Botany 72: 107-115.

Schübler A., Schwarzott, D., Walker, C. 2001. **A new fungal phylum, the Glomeromycot: phylogeny and evolution**. Micological Research 105 (12):1413-1421.

Snellgrove R.C., Stribley D.P., Tinker P.B. and Lawlor. 1986. **The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on photosynthesis and carbon distribution in leek plants**. Mycorrhizae: physiology and genetics. 1^{er} Sem. 421-424.

Srivastava H. S. and Singh P. R. 1999. **Nitrogen nutrition and plant grow**. Science Publisher, Inc. India. pp. 22-43.

Tabatabaei S. J., Fatemi L. S. and Fallahi E. 2006. **Effect of ammonium : nitrate on yield calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry**. Journal of Plant Nutrition 29: 1273-1285.

Tischner R. 2000. **Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants**. Plant, Cell and Environmental. 23: 1005-1024.

UC IPM UC, **Management Guidelines for Characteristics of Strawberry Cultivars Commonly Grown in California**.htm; up dated 06/05.

Vierheilig, H., Coughlan, A. P. Wyss U. y Piche, Y. 1998. **link and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi**. Applied and Enviromental Microbiology. 64:12:5004-5007.

Villa-Castorena M., Ulery A. L., Cátalan-Valencia E. A and Remmenga M. D. 2003. **Salinity and nitrogen rate effects on growth and yield of chile pepper plants**. Soil Science Society of America J. 67:1781-1789.

Yoshida C. L. and Allen E. B. 2001. **Response to ammonium and nitrate by a mycorrhizal annual invasive grass and native shrub in southern California**. American Journal of Botany 88(8): 1430-1436.

Yoshida C. L. and Allen E. B. 2004. **¹⁵N uptake by mycorrhizal native and invasive plants form a N-eutrophied shrublsnd: a greenhouse experiment**. Biol. Fertil. Soils 39: 243-248.

Zepeda G. S. 2007. **Efecto de dos fuentes de nitrógeno en el patrón de crecimiento del micelio externo de *Glomus intraradices* y *Glomus lamellosum*, en raíces transformadas de zanahoria (*Dacus carota* L.) in vitro**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 51 pp.

Anexo 1. Tratamientos y combinación de los factores evaluados.

Tabla 1.- Tratamientos y combinación de los factores evaluados

TRATAMIENTO	FACTORES		
	Concentración de Nitrógeno mM	Inoculación	Formas de nitrógeno NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻
1	1	Presencia	0:1
2	1	Presencia	0.25:0.75
3	1	Presencia	0.5:0.5
4	1	Presencia	0.75:0.25
5	1	Ausencia	0:1
6	1	Ausencia	0.25:0.75
7	1	Ausencia	0.5:0.5
8	1	Ausencia	0.75:0.25
9	8	Presencia	0:8
10	8	Presencia	2:6
11	8	Presencia	4:4
12	8	Presencia	6:2
13	8	Ausencia	0:8
14	8	Ausencia	2:6
15	8	Ausencia	4:4
16	8	Ausencia	6:2

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Tratamientos de fertilización evaluados.

Tabla 2.- Solución de riego concentración 1 mM y forma NH₄⁺ 0.0 : NO₃⁻ 1.0.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.90	3.00
Ca⁺⁺	1.00	♦	6.00	7.00
Mg⁺⁺	♦	♦	3.00	3.00
NH₄⁺	♦	♦	♦	0.00
Σ	1.00	0.10	11.90	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, 1998

Tabla 3.- Solución de riego concentración 1 mM y forma NH₄⁺ 0.25 : NO₃⁻ 0.75.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.80	2.90
Ca⁺⁺	0.75	♦	6.20	6.95
Mg⁺⁺	♦	♦	2.90	2.90
NH₄⁺	♦	♦	0.25	0.25
Σ	0.75	0.10	12.15	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. Cit

Tabla 4.- Solución de riego concentración 1 mM y forma NH₄⁺ 0.50 : NO₃⁻ 0.50.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.83	2.93
Ca⁺⁺	0.50	♦	6.14	6.64
Mg⁺⁺	♦	♦	2.93	2.93
NH₄⁺	♦	♦	0.50	0.50
Σ	0.50	0.10	12.40	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 5.- Solución de riego concentración 1 mM y forma NH₄⁺ 0.75 : NO₃⁻ 0.25.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.70	2.70
Ca⁺⁺	0.25	♦	6.40	6.65
Mg⁺⁺	♦	♦	2.80	2.80
NH₄⁺	♦	♦	0.75	0.75
Σ	0.25	0.10	12.65	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 6.- Solución de riego concentración 8 mM y forma NH₄⁺ 0.00 : NO₃⁻ 8.00.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.90	3.00
Ca⁺⁺	7.00	♦	♦	7.00
Mg⁺⁺	1.00♦	♦	2.00	3.00
NH₄⁺	♦	♦	♦	0.00
Σ	8.00	0.10	4.90	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 7.- Solución de riego concentración 8 mM y forma NH₄⁺ 2.00 : NO₃⁻ 6.00.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.40	2.50
Ca⁺⁺	6.00	♦	♦	6.00
Mg⁺⁺	♦	♦	2.50	2.50
NH₄⁺	♦	♦	2.00	2.00
Σ	6.00	0.10	6.90	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 8.- Solución de riego concentración 8 mM y forma NH₄⁺ 4.00 : NO₃⁻ 4.00.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	♦	0.10	2.40	2.50
Ca⁺⁺	3.00	♦	3.00	6.00
Mg⁺⁺	1.00	♦	1.50	2.50
NH₄⁺	♦	♦	2.00	2.00
Σ	4.00	0.10	8.90	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 9.- Solución de riego concentración 8 mM y forma NH₄⁺ 6.00 : NO₃⁻ 2.00.				
Meq L⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁼	Σ
K⁺	1.00	0.10	0.50	1.60
Ca⁺⁺	♦	♦	3.80	3.80
Mg⁺⁺	1.00	♦	0.60	1.60
NH₄⁺	♦	♦	6.00	6.00
Σ	2.00	0.10	10.90	13.00

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit

Tabla 10.- Solución de micronutrientes	
Compuesto	gr./L
MnSO₄.H₂O	.64
CuSO₄.5H₂O	.03
ZnSO₄.7H₂O	.217
H₃BO₄	.223
(NH₄)₆Mo₇O₂₄	.027
EDTA-Fe.1 H₂O	.6

Fuente: Cárdenas *et al.*, op. cit