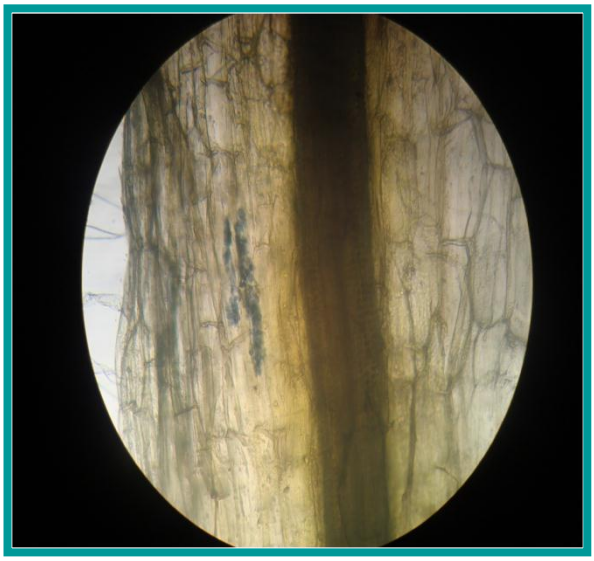
CUANTIFICACIÓN PROPORCIONAL DE LA REDUCCIÓN DE APLICACIÓN DE AGUA EN UN CULTIVO DE TOMATE INOCULADO CON HONGOS MICORRIZÓGENOS EN UN SUELO SÓDICO



Silvia Patricia Cano Perdomo

Claudia M. Hurtado Cabrera

Universidad del Valle

Santiago de Cali, 2013

CUANTIFICACIÓN PROPORCIONAL DE LA REDUCCIÓN DE APLICACIÓN DE AGUA EN UN CULTIVO DE TOMATE INOCULADO CON HONGOS MICORRIZÓGENOS EN UN SUELO SÓDICO

SILVIA PATRICIA CANO PERDOMO

CLAUDIA MARCELA HURTADO CABRERA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

2013

CUANTIFICACIÓN PROPORCIONAL DE LA REDUCCIÓN DE APLICACIÓN DE AGUA EN UN CULTIVO DE TOMATE INOCULADO CON HONGOS MICORRIZÓGENOS EN UN SUELO SÓDICO

SILVIA PATRICIA CANO PERDOMO

CLAUDIA MARCELA HURTADO CABRERA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Agrícola

DIRECTORA

MARTHA CONSTANZA DAZA TORRES

INGENIERA AGRÍCOLA

M.Sc EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

2013

NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA DIRECTOR

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen de Aránzazu por todas las bendiciones recibidas, por ayudarme a luchar hasta el final para alcanzar mis sueños. A mi madre, ELVIRA PERDOMO, eres mi ejemplo a seguir, mi héroe, gracias por darme la vida, por ser mi apoyo, mi bastón y mi fortaleza, Te amo madre. A mi padre, ARMANDO CANO, por enseñarme a crecer, por apoyarme y ayudarme hacer realidad mis sueños, por todos tus esfuerzos gracias. Te amo. A mis Hermanos Camilo y Felipe agradezco infinitamente a Dios por tenerlos en mi vida, los amo, gracias por siempre estar ahí y darme la mano. A mi familia, abuelos, tíos, primos y demás allegados a mi familia, gracias porque son el motor de mi vida, sin su apoyo esto no sería posible. A mis amigos, mi segunda familia, YURI, LAURA. DIANA, GUSTAVO, LUIS, FAI, ALVARO, ADRI, JUAN, OSCAR, JULIAN, CARLOS, SANDRU gracias por ser los cómplices de mis aventuras, por apoyarme en los momentos difíciles. Los quiero mucho. A mi compañera y amiga CLAUDIA, por tus enseñanzas, por tu paciencia y por tu dedicación, te debo muchísimo mil gracias por ayudarme alcanzar este triunfo, Te quiero. A mi hermanita MAYRA, por ser parte vital de mi vida, por tus consejos y por tu apoyo.

Silvia P. Cano P.

A Dios por bendecirme de tantas formas, dándome la oportunidad de estudiar una carrera tan bonita, permitiéndome culminarla y rodeándome siempre de excelentes personas que han sido mi soporte y mi compañía durante mi vida académica y personal.

A mi padre CARLOS HURTADO, a mi madre LUZ MERY CABRERA y a mi hermanita ANA MARÍA HURTADO por su apoyo incondicional, sus consejos, sus enseñanzas, su comprensión, su paciencia, su amor y por ser la mejor y más grande bendición que me pudo dar la vida.

A mi amiga SILVIA CANO por su paciencia, comprensión, perseverancia, compañía, apoyo y por ser la mejor amiga y compañera de tesis.

A mis amigos GUSTAVO, LUIS, FAI, ADRI, JUANK, GERARDO, EDWIN, SANDRU, MILLER, PINCHAO, ALVARO MIGUEL y todos los que en algún momento estuvieron para con su compañía hacer más feliz e inolvidable mi vida universitaria

Claudia M. Hurtado C.

AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD DEL VALLE**, por ser nuestra alma mater y formarnos no solo como profesionales si no como personas, por ser la mejor para los mejores.

A la Ingeniera **MARTHA CONSTANZA DAZA**, por sus enseñanzas, dedicación y esfuerzo, por ser nuestra guía para alcanzar este logro.

Al Ingeniero **JAVIER JARAMILLO BRAVO**, por su apoyo, comprensión y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A **CATHERINE GÓMEZ**, **EBERT HERNÁNDEZ** y **EDWIN HURTADO** por toda la colaboración brindada para realizar este trabajo.

A **GUSTAVO,** que siempre fue nuestro apoyo incondicional, por toda su colaboración, por su paciencia, su amistad y por su esfuerzo para hacer posible este logro.

A **ALEJANDRO OROZCO,** por su apoyo, paciencia y ayuda desinteresada, la cual fue indispensable para concretar este trabajo.

A **LUIS, FAISURY, ALVARO, ADRIANA, MIGUEL, SANDRA, JUAN CARLOS, OSCAR, JULIAN** porque siempre nos ayudaron de una u otra forma a lo largo de esta tesis y de esta etapa de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.
INDICE DE TABLAS 3
INDICE DE FIGURAS 5
1. RESUMEN 8
2. INTRODUCCIÓN 9
3. JUSTIFICACIÓN 11
4. OBJETIVOS 12
4.1 GENERAL 12
4.2 ESPECÍFICOS 12
5. MARCO TEORICO 13
5.1 EL SUELO 13
5.1.1 Propiedades de los suelos 13
5.1.2 Degradación del suelo 14
5.2 SUELOS BÁSICOS 15
5.2.1 Clasificación de los suelos básicos 15
5.2.2 Causas de la formación de suelos básicos 17
5.2.3 Recuperación de suelos básicos. 17
5.2.4 Efecto de las sales en las plantas 20
5.2.5 El cultivo del tomate (Lycopersicon esculentum mill) 22
5.3 MICORRIZAS 26
5.3.1 Clasificación de las micorrizas 26
5.3.2 Proceso de la colonización micorrizica 29
6. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DE PLANTAS MICORRIZADAS BAJO ESTRÉS HÍDRICO 31
7. MATERIALES Y METODOS 33
7.1 LOCALIZACIÓN 33
7.2 DESCRIPCIÓN DELSUELO 33
7.3 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO 35
7.3.1 Semillero 35
7.3.2 Trasplante 36
7.3.3 Tutorados 36
7.3.4 Polinización 37

7.3.5 Fertilización 37
7.3.6 Control de plagas y enfermedades 37
7.3.7 Poda 38
7.3.8 Riego 38
7.3.9 Cosecha 40
7.4 DISEÑO EXPERIMENTAL 41
7.5 VARIABLES EXPLICATIVAS 42
7.5.1 pH 42
7.5.2 Conductividad eléctrica (CE) 42
7.5.3 Porcentaje de germinación 43
7.6 VARIABLES EVALUADAS 43
7.6.1 Variables de Infectividad de los hongos micorrizógenos 43
7.6.2 Variables morfológicas 44
7.6.3 Variables de rendimiento 45
7.6.4 Variables de Biomasa 45
7.7 Análisis estadístico 46
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46
8.1 Determinación de las láminas de riego 46
8.2 Descripción del suelo 47
8.3 Variables explicativas 48
8.3.1 pH 48
8.3.2 Conductividad Eléctrica 48
8.3.3 Porcentaje de germinación 48
8.4 Efecto de la inoculación con micorrizas en variables morfológicas del cultivo 49
8.4.1 Variables de infectividad de los hongos micorrizógenos 50
8.4.2 Variables morfológicas de la planta de tomate 51
8.4.3 Variables de Producción 63
8.4.4 Variables de biomasa 66
9. CONCLUSIONES 73
10. RECOMENDACIONES 75
11. BIBLIOGRAFÍA 76
12. ANEXOS 80

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Características de suelos básicos 16
Tabla 2. Rangos de la tolerancia relativa a la salinidad por los cultivos. 21
Tabla 3. Contexto taxonómico del género Lycopersicon. 22
Tabla 4. Temperatura óptima para los diferentes estados de desarrollo del tomate..... 23
Tabla 5. Etapas del cultivo, según las cuales se varió el Kc a lo largo del experimento. .. 39
Tabla 6. Cálculo de las láminas de riego para cada etapa del cultivo de tomate..... 39
Tabla 7. Tratamientos empleados en el desarrollo del trabajo de investigación*..... 41
Tabla 8. Láminas de riego en mililitros aplicadas según etapa del cultivo y tratamiento... 47
Tabla 9. Datos promedio y descripción de los resultados obtenidos en el análisis de suelos realizado con anterioridad por el laboratorio del Ingenio Providencia..... 47
Tabla 10. Influencia de las micorrizas en el porcentaje de germinación de plántulas de tomate variedad Santa Clara en suelo básico. 49
Tabla 11. Promedio de los datos a 30 cm de profundidad de los resultados del análisis de suelos realizado por el Laboratorio Químico de Campo del Ingenio Providencia. 80
Tabla 12. Datos de pH y conductividad eléctrica (CE) encontrados para cada unidad experimental. 82
Tabla 13. Datos promedio por tratamiento de las variables evaluadas para el tiempo 1 (80 ddt). 83
Tabla 14. Datos promedio por tratamiento de las variables evaluadas para el tiempo 2 (125 ddt). 83
Tabla 15. Resultados ANOVA para la variable Área Foliar en el Tiempo 1 (80 ddt)..... 84
Tabla 16. Resultados prueba de Tukey para el factor Lámina en el Tiempo 1 (80 ddt)*... 84
Tabla 17. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 1 (80 ddt)*..... 84
Tabla 18. Resultados ANOVA para la variable Área Foliar en el Tiempo 2 (125 ddt)..... 84
Tabla 19. Resultados prueba de Tukey para el factor Lámina en el Tiempo 2 (125 ddt)*. 84
Tabla 20. Resultados ANOVA para la variable Longitud Radical en el Tiempo 1 (80 ddt).85
Tabla 21. Resultados ANOVA para la variable Longitud Radical en el Tiempo 2 (125 ddt). 85
Tabla 22. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 2 (125 ddt)*.... 85
Tabla 23. Resultados ANOVA para la variable Longitud Aérea en el Tiempo 1 (80 ddt). . 85
Tabla 24. Resultados ANOVA para la variable Longitud Aérea en el Tiempo 2 (125 ddt). 85
Tabla 25. Resultados ANOVA para la variable Diámetro de Tallo en el Tiempo 1 (80 ddt). 86
Tabla 26. Resultados ANOVA para la variable Diámetro de Tallo en el Tiempo 2 (125 ddt). 86
Tabla 27. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Hojas en el Tiempo 1 (80 ddt). 86

Tabla 28. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Hojas en el Tiempo 2 (125 ddt). 86
Tabla 29. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Tallo en el Tiempo 1 (80 ddt). 87
Tabla 30. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Tallo en el Tiempo 2 (125 ddt). 87
Tabla 31. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Raíz en el Tiempo 2 (125 ddt). 87
Tabla 32. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Frutos en el Tiempo 2 (125 ddt). 87
Tabla 33. Resultados ANOVA para la variable porcentaje de infección micorrízica en el Tiempo 1 (80 ddt). 88
Tabla 34. Resultados ANOVA para la variable porcentaje de infección micorrízica en el Tiempo 2 (125 ddt). 88
Tabla 35. Resultados ANOVA para la variable Nº de Frutos en el Tiempo 2 (125 ddt). ... 88
Tabla 36. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 2 (125 ddt)*. 88
Tabla 37. Matriz de correlación para las variables evaluadas en el tiempo 1 (80 ddt). 89
Tabla 38. Matriz de correlación para las variables evaluadas en el tiempo 2 (125 ddt). ... 89

INDICE DE FIGURAS

Pág.
Figura 1. Las propiedades físicas del suelo y sus principales interrelaciones. 14
Figura 2. Fases fenológicas de un cultivo de tomate..... 24
Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de micorrizas. 27
Figura 4. Microfotografía de un arbúsculo desarrollado de Micorriza Arbúscular. 29
Figura 5. Microfotografía de una micorriza identificando algunas de sus estructuras (hifas, arbúsculos, vesículas y apresorios). 29
Figura 6. Ubicación del Invernadero del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad del Valle, donde se desarrolló el experimento..... 33
Figura 7. Ubicación de la Hacienda La Josepilla la cual tiene presencia de suelos salinos. 34
Figura 8. Hacienda la Josepilla con suelo cubierto por forrajes nativos, dedicada a la ganadería. 35
Figura 9. Dimensiones de las unidades experimentales empleadas en el ensayo. 36
Figura 10. Experimento establecido en el invernadero sobre plástico con sistema de tutorado instalado. 37
Figura 11. Medición de la lámina de riego a aplicar para cada tratamiento. 38
Figura 12. Frutos cosechados y marcados con su respectivo tratamiento. 40
Figura 13. Esquema disposición de las unidades experimentales, donde T corresponde a los tratamientos, R a las repeticiones por tratamiento, t a los tiempo evaluados (t1=80 y t2=125 ddt). 42
Figura 14. Determinación del porcentaje de infección micorrízica por el método de intersección de campos en placa. 43
Figura 15. Estructuras micorrízicas identificadas con ayuda del microscopio en raíces de plantas de tomate chonto previamente teñidas. 44
Figura 16. Disposición en campo y grado de salinidad presente en cada unidad experimental. 48
Figura 17. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable porcentaje de infección micorrízica de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 51
Figura 18. Dinámica del crecimiento de las plantas de tomate para todos los tratamientos desde la semana 1 hasta la semana 14. 52
Figura 19. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable longitud aérea de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 53
Figura 20. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Longitud Aérea (LA) en el tiempo 1 (80 ddt). 54

Figura 21. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable longitud radical de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 55
Figura 22. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes. 56
Figura 23. Correlación de la variable Longitud Radical (LR) con las Variables Longitud Aérea (LA) y Porcentaje de Infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 1. 56
Figura 24. Correlación de la variable Longitud Radical (LR) con la Variable porcentaje de Infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 2. 57
Figura 25. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable diámetro de tallo de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 58
Figura 26. Correlación de la variable Diámetro de Tallo (DT) con las Variables Longitud Radical (LR), Longitud Aérea (LA), Porcentaje de infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 1 (80 ddt). 59
Figura 27. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable área foliar de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).. 60
Figura 28. Resultados prueba de Tukey para el factor Porcentaje de lámina bruta en el tiempo 1 (80 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes. 61
Figura 29. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 1 (80 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes. 61
Figura 30. Resultados prueba de Tukey para el factor Porcentaje de lámina bruta en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes. 62
Figura 31. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Área Foliar (AF) en el tiempo 1 (80 ddt). 62
Figura 32. Correlación de la variable Área Foliar (AF) con las variables Longitud Radical (LR) y Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1. 63
Figura 33. Correlación de la variable Área Foliar (AF) con la variable Longitud Aérea (LA) para el tiempo 2. 63
Figura 34. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable número de frutos de plantas de tomate para el tiempo 2 (125 ddt). 64
Figura 35. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes. 65
Figura 36. Correlación de la variable Número de Frutos (NF) con la variable Longitud Radical (LR) para el tiempo 2. 65
Figura 37. Estados de madurez fisiológica de los frutos cosechados a los 125 ddt. 66

Figura 38. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de frutos de plantas de tomate para el tiempo 2 (125 ddt). 66
Figura 43. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de raíz de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 67
Figura 44. Correlación de la variable Materia Seca de Raíz (MSR) con la variable Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1. 68
Figura 45. Correlación de la variable Materia Seca de Raíz (MSR) con la variable Materia Seca de Fruto (MSF) para el tiempo 2. 68
Figura 46. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de tallo de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 69
Figura 43. Correlación de la variable Materia Seca de Tallo (MST) con las Variables Longitud Aérea (LA) y Área Foliar (AF) para el tiempo 1. 70
Figura 44. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de hojas de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt). 71
Figura 45. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Materia seca de hojas (MSH) en el tiempo 1 (80 ddt). 71
Figura 46. Correlación de la variable Materia Seca de Hojas (MSH) con las Variables Área Foliar (AF) y Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1. 72
Figura 47. Correlación de la variable Materia Seca de Hojas (MSH) con la variable Materia Seca de Tallo (MST) para el tiempo 2. 72
Figura 48. Resultados análisis químico y físico del suelo realizado por el Laboratorio Químico de Campo del Ingenio Providencia. 80

1. RESUMEN

Los suelos salinos son aquellos que contienen suficiente sal soluble para reducir la productividad y disminuir la disponibilidad de agua para el cultivo; la presión osmótica creada por la sal hace que la raíz tenga que hacer más esfuerzo para extraer el agua, por lo tanto, producir alimentos en estos suelos requiere aplicar una mayor lámina de riego. Con la presente investigación, se buscó estudiar la alternativa de inoculación de plantas con hongos micorrizógenos arbusculares (MA), con el objeto de disminuir los requerimientos de agua en cultivos establecidos en suelos salinos, se evaluaron diferentes láminas de riego (100%, 90%, 80%) en un cultivo de tomate bajo invernadero, analizando el efecto de la inoculación con estrato micorrizíco en estas plantas(CM, SM), se realizó un diseño experimental completamente al azar, con seis tratamientos, y tres repeticiones en dos tiempos (80 ddt y125 ddt). Para analizar el efecto de los diferentes tratamientos se evaluaron variables de respuesta tales como: longitud aérea, área foliar, diámetro de tallo, porcentaje de infección micorrizica, longitud radical, masa seca de raíz, masa seca de tallo, masa seco de hojas, masa seca de frutos y No. De frutos. Por medio del análisis de varianza al 95% (ANOVA) se encontrón que en la mayoría de las variables evaluadas no se presentaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, aunque se logró observar el efecto benéfico que se presentó en la plantas inoculadas con sustrato micorrizico, determinando que bajo condiciones de sodicidad y sequia se presenta colonización micorrizica, y que esta aumenta la resistencia de las plantas a estas condiciones además de mejorar notablemente algunas de las características fisiológicas de las plantas de tomate, también se determinó que algunas variables no se ven afectadas por la disminución hasta de un 10% de la lámina de riego, sin embargo no se recomienda ya que en general las plantas no logran desarrollarse de manera óptima comparadas con plantas sembradas en suelos sin problemas de sodicidad.

Palabras claves: Suelos salino, micorrizas, tomate, lámina de riego

2. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, se buscó estudiar la alternativa de inoculación de plantas con hongos micorrizógenos arbusculares (MA).con el objeto de disminuir los requerimientos de agua en cultivos establecidos en suelos salinos.

Bajo este propósito es necesario mencionar que los suelos son una de las bases naturales de la vida humana y del desarrollo social. Sin embargo, a través de la historia y por usos inadecuados, los suelos han sufrido importantes degradaciones como erosión, salinización y contaminación. Los efectos de la sal y el sodio en el suelo representan uno de los mayores factores limitantes en la producción agrícola puesto que interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura sostenible a nivel de todo el planeta (ASIAC, 2010).

Se definen como suelos salinos aquellos que contienen suficiente sal soluble para reducir la productividad y disminuir la disponibilidad de agua para el cultivo; la presión osmótica creada por la sal hace que la raíz tenga que hacer más esfuerzo para extraer el agua, por lo tanto, producir alimentos en estos suelos requiere aplicar una mayor lámina de riego contribuyendo así a aumentar el porcentaje de agua consumida en el sistema productivo. Cabe resaltar que el sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65% del total, no sólo porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse sino porque no se cuenta con sistemas de riego eficientes, razón principal que provoca que las pérdidas sean de gran magnitud (Ramirez, 2006)

Colombia es reconocido internacionalmente como uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo; sin embargo, la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas, la distribución desigual del recurso, el incremento de la población y las actividades económicas, hacen que ésta riqueza hídrica se encuentre sujeta a incrementos en la demanda, específicamente en las zonas donde se concentra la mayor parte de su población (IDEAM, 1994).

Es importante resaltar el hecho de que el manejo del agua se ha convertido en uno de los mayores desafíos que debe afrontar la humanidad, razón por la cual se están desarrollando nuevas alternativas económicas y amigables con el medio ambiente que permitan disminuir el consumo de este recurso.

Entre estas alternativas, se encuentra el uso de inoculación con hongos micorrizógenos en cultivos establecidos en zonas con problemas de sequía o suelos salinos. Las micorrizas son reconocidas por su particularidad de realizar procesos de simbiosis compatibles e íntimas entre las raíces de las plantas y algunos hongos del suelo. Se caracterizan por la integración estructural y metabólica entre ambos simbiontes y se manifiesta de manera positiva en nutrición, sanidad, productividad y adaptabilidad de las

plantas a las condiciones ambientales. Se trata de una simbiosis prácticamente universal (Sánchez, 2007).

En el presente documento se reporta en primer lugar una revisión bibliográfica sobre los temas de interés (suelo, degradación, salinidad, micorrizas y cultivo del tomate) que brindan herramientas para entender mejor la metodología usada en el desarrollo del experimento la cual se describe en el capítulo correspondiente a materiales y métodos; posteriormente se presenta el capítulo sobre análisis de resultados hallados en la presente investigación, para finalmente con base a los resultados alcanzados presentar las respectivas conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

3. JUSTIFICACIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO calculan que el área total de suelos salinos en el mundo es de 397 millones de hectáreas y los suelos sódicos corresponden a 434 millones de hectáreas. Con relación a las zonas irrigadas, se estima que de 230 millones de hectáreas irrigadas, 40 millones corresponde a suelos afectados por la salinización (19%), causada en menor o mayor grado por la intervención del hombre (FAO, 1994). A nivel nacional y específicamente en el Valle del Cauca de las 299.226,6 hectáreas de la zona plana actualmente dedicadas a la agricultura, 85.000 hectáreas se encuentran afectadas por salinidad (ASIAC, 2010)

Las sales solubles dificultan el crecimiento de las plantas a causa de su efecto osmótico. La presión osmótica se añade a la tensión total del agua en el suelo limitando su disponibilidad a las plantas, con lo cual se puede producir un marchitamiento permanente cuando la presión osmótica se eleva (Thompson, y Rucks, 2002). Por lo tanto para producir alimentos en un suelo salino se deben agregar mayores láminas de riego y usar especies tolerantes o semitolerantes a la salinidad.

Muchos estudios han demostrado que la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares mejoran el crecimiento de las raíces en las plantas bajo diferentes condiciones de salinidad. Hasta cierto punto, estos hongos han sido considerados como bio-remediadores de suelos salinos. Además se conoce que la simbiosis micorrízica aumenta de forma marcada la resistencia de la planta huésped a la sequía, así como la absorción de agua y nutrientes (Merryweather, y Fitter, 1996).

Este trabajo se realizó por el interés que existe en conocer la posibilidad de reducir láminas de riego con el uso de herramientas biotecnológicas en un cultivo establecido en un suelo sódico, debido a que este tipo de degradación se está expandiendo cada vez más y su remediación es costosa, lleva mucho tiempo y además requiere grandes cantidades de agua, recurso que se debe preservar teniendo en cuenta las condiciones ambientales actuales. En este experimento se trabajó con tomate como planta indicadora debido a que es una especie semitolerante a la salinidad y es apropiada al mostrar síntomas apreciables a simple vista de cualquier fenómeno en su proceso de crecimiento y desarrollo.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar el efecto de la disminución de la lámina de riego en un cultivo de tomate variedad Santa Clara inoculado con hongos micorrizógenos y establecido en un suelo ~~salino-~~sódico proveniente de la hacienda “Josepilla” Palmira (Valle).

4.2 ESPECÍFICOS

Evaluar las características fisicoquímicas del suelo proveniente de la hacienda “Josepilla” ubicada en el corregimiento de Rozo sobre la vía a Palmaseca en el municipio de Palmira.

Cuantificar la eficiencia de inoculación de Micorrizas Arbusculares (MA) en plantas de tomate variedad Santa clara cultivadas en un suelo sódico.

Determinar la menor lámina de riego que permita el desarrollo óptimo de plantas de tomate inoculadas con Micorrizas Arbusculares creciendo en un ambiente sódico.

5. MARCO TEORICO

5.1 EL SUELO

El suelo, es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (USDA, 2010).

Siendo el suelo la capa superior de la superficie terrestre se han planteado diversas teorías sobre su formación y cada una explica los factores que se necesitaron para la creación de esta estructura natural fundamental. El suelo puede ser considerado como una determinada combinación de sus factores formadores. Esta concepción del suelo fue expresada por primera vez por Jenny (1940) según la siguiente expresión S = f (cl, o, r, p, t). En donde "S" representa al suelo, "f" es una función, "cl" al clima, "o" a los organismos, "r" al relieve, "p" a la roca madre y "t" al tiempo; esta relación es muy importante pues representa que para una determinada combinación de los factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo (la misma combinación de factores originará siempre el mismo tipo de suelo independientemente del lugar geográfico en que se encuentre). Igualmente importante es que la magnitud de cualquiera de las propiedades del suelo, tales como pH, contenido en arcillas, porosidad, entre otras, está determinada por la combinación de estos factores formadores (Formación del suelo, 2003).

Aparte de los anteriores componentes básicos, hay un componente, derivado de ellos, que es quizás más decisivo en la evolución del suelo y es la evapotranspiración potencial (ETP). Ésta determina la cantidad de agua necesaria para suplir las necesidades de las plantas y de la evaporación características de la zona que se estudia. Cuando se sustrae este consumo del aporte de agua que hace la precipitación (P – ETP), la cantidad que queda es la cantidad de agua disponible para realizar alguna actividad en el suelo. La evapotranspiración depende de la temperatura y mientras mayor sea ésta, mayor es la evapotranspiración (Jaramillo, 2002).

5.1.1 PROPIEDADES DE LOS SUELOS

La condición física de un suelo, determina, rigidez y fuerza de sostenimiento, facilidad para la penetración de las raíces, aireación, capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, plasticidad, y retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas algunas de las cuales están relacionadas directamente con la calidad del suelo (figura 1), para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, y cómo se ven alteradas por la actividad humana además de comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks, y otros, 2004). Dentro de las propiedades físicas más destacadas se tiene la estructura considerada como la forma de agregación

natural de las partículas del suelo, para formar unidades de mayor tamaño con carácter más persistentes, denominadas agregados, cuya acomodación en la matriz del suelo define las relaciones de porosidad. Otra importante propiedad es la textura definida como el porcentaje en que se encuentran las partículas de arcilla, limo y arena que constituyen el suelo (Rucks, y otros, 2004).

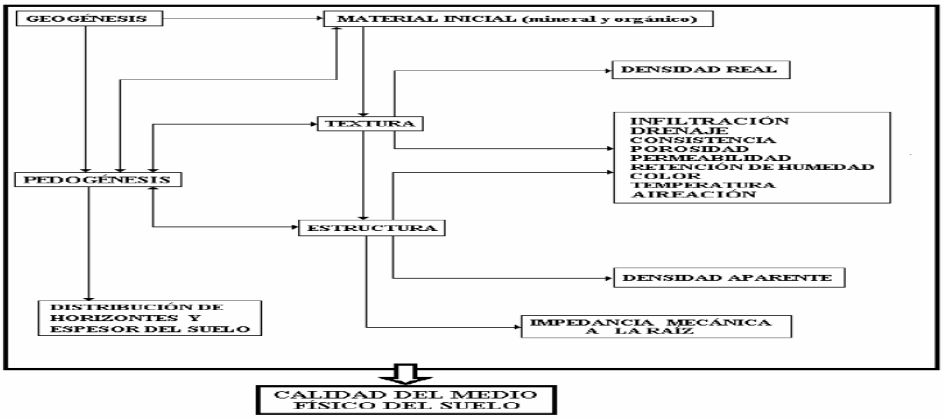


Figura 1. Las propiedades físicas del suelo y sus principales interrelaciones.

Fuente: Jaramillo, 2002

La sostenibilidad del recurso suelo depende de muchos factores entre los cuales uno de los más importantes es el mantenimiento de su fertilidad. En general, la fertilidad de los suelos tiene varios componentes que dependen de sus propiedades químicas como pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica como medida indirecta de la concentración de sales.

5.1.2 DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación del suelo hace referencia al cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (FAO, 1994)

5.1.2.1 Tipos de degradaciones

Dentro del amplio concepto de degradación se distinguen diferentes tipos de degradación clasificados como físicas, químicas y biológicas. La degradación química, de interés particular en el presente trabajo, puede deberse a varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de degradación física, debido a pérdida de la estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua entre otras causas. En otras ocasiones se habla de degradación

biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada (Universidad Autonoma de Nayarit, 2006). Dentro de las degradaciones se hará especial énfasis en la salinidad, por ser una de las más importantes ya que influye considerablemente en el desarrollo de las plantas.

5.2 SUELOS BÁSICOS

Los suelos básicos cubren una parte importante de la superficie terrestre, se estima que varían desde 400 a 950 millones de hectáreas. También se señala que la recuperación de suelos, el drenaje y el control del agua de riego pueden minimizar las extensas superficies de suelos básicos; sin embargo, los costos de manejo e ingeniería son altos. Los incrementos en los costos de agua y energía acentúan la necesidad de nuevas estrategias. En estudios sobre la salinidad a nivel mundial se ha estimado que de los 145 millones de km² de la superficie terrestre, los problemas de ensalitramiento o salinización se presentan generalmente en las regiones con climas áridos y semiáridos, que comprenden un 20% de los continentes, donde la precipitación no es suficiente para lavar las sales del suelo fuera de la zona radical, causando decrementos considerables en la productividad de los suelos. Cerca del 30% de la superficie bajo riego del mundo se encuentra en estas áreas y presenta problemas de salinidad en diferentes grados (Cisneros, 1995).

En Colombia se estima que un 3% del área total cultivable (3.360.000 hectáreas) tiene problemas de sales, localizadas especialmente en regiones como la costa Atlántica donde se encuentran más de 2.500.000 hectáreas con afecciones de diverso tamaño y magnitud, en el Valle del Cauca donde hay aproximadamente 85.000 hectáreas, en el valle del Magdalena y en la Sabana de Bogotá donde se encuentran amplias áreas con suelos afectados por sales y/o por sodio, características que imponen limitaciones fuertes para su uso agropecuario intensivo.

En las regiones Caribe, Valle del Cauca y Alto Magdalena son frecuentes también las limitaciones de carácter físico para el uso del suelo, relacionadas con la presencia de propiedades vérticas, de horizontes endurecidos, de deterioro estructural y de alta susceptibilidad a la erosión (Jaramillo, 2004).

5.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS BÁSICOS

Los indicadores químicos de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de los suelos básicos son la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH (Otero, y otros, 2004), cuyos parámetros permiten separar a los suelos básicos en 3 grandes grupos: salinos, sódicos y salino-sódicos (Tabla 1).

A continuación se definen y describen las tres categorías.

Tabla 1. Características de suelos básicos

Clasificación	pH	CE (ds/m)	PSI (%)
Normal	6 a 7	< 2	<15
Salinos	< 8.5	> 4	< 15
Sódicos	> 8.5	< 4	> 15
Salino-Sódicos	> 8.5	> 4	> 15

Fuente: Zamolinski, 2000.

5.2.1.1 Suelos salinos

Son los que tienen altas concentraciones de sales solubles principalmente cloruros, sulfatos y nitratos. Otras sales que pueden estar presentes en estos suelos son el yeso (sulfato de calcio hidratado) y los carbonatos y bicarbonatos de calcio o de magnesio. Estos suelos se caracterizan por presentar un pH menor a 8.5; un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 y una conductividad especifica en el extracto de la solución del suelo a 25ºC mayor de 4 dsiemens/m (Solis, 2000).

5.2.1.2 Suelos sódicos

Los suelos sódicos contienen alta cantidad de sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles. El exceso de sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos.

En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse por la ampliación de la doble capa difusa, proceso de disociación que técnicamente se denomina dispersión. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de sodio. Las partículas de arcilla dispersas se mueven por la estructura del suelo bloqueando sus poros y produciendo encostramiento. Los resultados son que la infiltración del agua así como su conductividad hidráulica, se reducen.

Los suelos sódicos tienden a hincharse cuando se mojan, luego se endurecen y cuartean cuando están secos. El suelo sódico una vez seco normalmente desarrolla y presenta una costra dura, seca, cuarteada y agrietada en su superficie, el daño a la estructura del suelo reduce la disponibilidad de oxígeno y capacidad de oxigenación en la zona radicular limitando el crecimiento de las plantas (SMART Growing intelligently).

5.2.1.3 Suelos salino-sódicos

Estos suelos contienen suficiente sodio intercambiable para interferir en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos; contienen, igualmente, cantidades perjudiciales de sales solubles, en estos suelos, al igual que los sódicos, el porcentaje de sodio en el complejo de cambio excede frecuentemente el 15%. Su conductividad es comúnmente superior que 4 dS/m (a 25ºC). En general, estos suelos tienen niveles de pH inferiores a 8.5 y sus propiedades físicas poseen menos problemas que las de los suelos sódicos, debido al efecto coagulante de las sales presentes (Fassbender, y otros, 1994).

5.2.2 CAUSAS DE LA FORMACIÓN DE SUELOS BÁSICOS

Las sales, tanto las de Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+} como las de Na^{+}, proceden de orígenes muy diferentes. En líneas generales, pueden ser de origen natural o proceder de contaminaciones antrópicas (Dorronsoro).

5.2.2.1 Causas naturales

En primer lugar pueden proceder directamente del material original. Efectivamente algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte, en otros casos ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre.

También frecuentemente los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (normalmente a menos de 3 metros). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía (Dorronsoro).

5.2.2.2 Contaminación antrópica

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas.

La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: cuando se han empleado aguas con alto conteniendo de sales sin el debido control acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos, o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben estas aguas.

Finalmente la actividad industrial, en ocasiones, puede acarrear situaciones serias de acumulación de determinadas sales en los suelos situados bajo su zona de influencia, por medio de la contaminación atmosférica o mediante las aguas que discurren por su cuenca hidrográfica (Dorronsoro).

5.2.3 RECUPERACIÓN DE SUELOS BÁSICOS.

La recuperación de suelos básicos debe discutirse separadamente de las técnicas de manejo, enfatizando las diferencias entre el procedimiento de manejo continuo para el

control de la salinidad y los procedimientos de recuperación de la productividad perdida por la presencia de una severa salinidad o sodicidad. La recuperación puede requerir la remoción de los excesos de sales, así como la reducción del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), siendo el lavado la forma más común de reducir la concentración de las sales solubles en la zona radicular (Cisneros, 1995).

Para la recuperación de los suelos básicos es necesario contar con información respecto a:

- pH del suelo
- Conductividad eléctrica del agua de riego (CEw)
- Conductividad eléctrica del suelo (CEe)
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)
- Cantidad de Aniones presentes en el agua y el suelo
- Cantidad de Cationes presentes en el agua y el suelo
- Cantidad de Cationes del agua y del suelo

5.2.3.1 Recuperación de suelos salinos

Para la recuperación de suelos salinos, se utilizan varios métodos, que en su mayoría, la mejor eficiencia de su aplicación resulta de la combinación de varios de ellos, es decir, complementándose unos con otros.

Métodos físicos

Estos métodos se refieren a las prácticas mecánicas que se pueden realizar normalmente en un suelo, aunque para fines de recuperación se hace un mayor énfasis en ellos:

- **Arado profundo:** La práctica del barbecho se realiza lo más profundo posible, siendo 40 cm la profundidad ideal. Para fines de recuperación del suelo se requiere que se haga con otras prácticas o métodos, ya que por sí mismo no resolvería el problema.
- **Subsoleo:** Esta práctica consiste en introducir cinceles a una profundidad mayor de 80 cm con el fin de romper las capas endurecidas y puedan con riegos pesados o lavados, lixiviarse las sales a una mayor profundidad lejos de la zona de raíces.
- **Construcción de drenes:** Cuando existe un problema de salinidad generalmente es conveniente un buen drenaje natural, en ausencia de éste, se pueden construir drenajes superficiales o subterráneos.
- **Inversión de perfiles:** Es una práctica que consiste en el volteo literal del suelo a través de maquinaria pesada, tratándose con ello que la zona de raíces quede lo más alejado posible de las sales.
- **Acondicionamiento de la textura:** Debido a que la textura es una de las propiedades físicas más importantes, las mejoras que se hagan sobre ella redundará en un mejor suelo. Sin embargo, los cambios en la textura no se dan fácilmente en corto tiempo, se

requiere de mejoras orgánicas y microbiológicas a través de la incorporación de abonos verdes y materia orgánica (Cisneros, 1995).

Métodos hidrotécnicos

Este método está basado en un buen manejo de agua la cual es aplicada al suelo para controlar o combatir la salinidad y/o sodicidad. Es un buen método si se aplica apropiadamente el cual consiste en la aplicación del agua como láminas de lavado y/o de sobre riego.

Para la aplicación del método en forma adecuada, se requiere de un buen drenaje natural o artificial, esto es fundamental y es condición para realizar lavados; de no contar con drenaje, el agua sólo disolvería las sales por un instante pero al secarse el suelo nuevamente se salinizaría por no contar con un desagüe.

Con un buen drenaje, pueden hasta lavarse o regarse suelos con aguas salinas (con menor concentración que la del suelo), para ello se requiere de mantener el suelo con un alto contenido de humedad, lo más cercano a capacidad de campo, la mayor parte del ciclo de cultivo.

La cantidad de agua a aplicar dependerá, entre otros factores de: la magnitud de la deficiencia, es decir, la diferencia entre lo que el suelo requiere para mitigar su problema y lo que le aportan las lluvias, la capacidad del suelo de almacenar agua en la zona radicular, la calidad del agua de riego. Más allá del sistema que se utilice para saber cuánto y cómo lavar es importante conocer las características del suelo y definir su comportamiento respecto al agua (Cisneros, 1995).

La implementación de este método en la actualidad, genera gran impacto debido a la escasez de agua, por lo cual resulta importante encontrar otras alternativas o complementar este método con otros para hacerlo más eficiente.

Métodos biológicos

Se refieren a las prácticas culturales de aplicación de abonos verdes y estiércoles para incrementar la cantidad de materia orgánica, mejorando con ello la agregación del suelo y conservando la humedad, lo que mantendrá más diluidas las sales y en consecuencia habrá una menor tensión osmótica. También se aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y por lo mismo la fertilidad. En conclusión, el aumento de la materia orgánica del suelo, mejorará sus condiciones generales.

Los métodos biológicos por si solos no resuelven problemas de salinidad o sodicidad severos, se requiere del apoyo de otros métodos para mejorar las condiciones del suelo. Más bien resultan mejor como complemento y/o preventivo, que para solucionar el problema de fondo. En la actualidad uno de los métodos biológicos que más se

implementa debido a los beneficios que brinda tanto al suelo como la planta, es la implementación de hongos formadores de micorrizas (Cisneros, 1995).

5.2.3.2 Recuperación de Suelos Sódicos

Desde el punto de vista de la recuperación, siempre es mucho más sencillo mejorar los suelos salinos que aquellos con características sódicas. Mientras que los primeros pueden recuperarse con lavados, los sódicos precisan a su vez de enmiendas que promueva el desplazamiento del sodio del complejo de cambio y forme sales para su posterior lavado. De todas maneras, para recuperar tanto un suelo salino como uno sódico es necesario contar con un sistema de drenaje que garantice la eliminación de las sales del perfil del suelo

Dentro de las enmiendas más usadas actualmente por su efectividad y economía se tiene el yeso (sulfato de calcio), el cual, tradicionalmente se debe incorporar antes de plantar. La aplicación debe ser uniforme, y es ventajoso que el yeso sea lo más fino posible, para favorecer su disolución. La recuperación del suelo depende de la cantidad de yeso que se aplique, su pureza y su grado de finura. A veces se justifica el agregado de yeso de alta pureza y muy fino en el pozo de plantación, para acelerar el proceso de recuperación de la zona en contacto con las raíces. Si bien este manejo es más costoso, la respuesta de la planta es prácticamente inmediata.

Puede ocurrir que el suelo sódico presente calcio en forma insoluble, como carbonato de calcio. Es decir que existe la posibilidad de movilizar esta reserva calcárea para desplazar al sodio. El proceso para lograrlo es más largo y se debe recurrir a una enmienda como el azufre (S) o el ácido sulfúrico. En el suelo, el azufre se transforma en ácido sulfúrico gracias a la acción de bacterias específicas. El azufre, en forma ácida, reacciona con el carbonato de calcio precipitado. De la reacción química se desprende dióxido de carbono y se produce sulfato de calcio, el cual en definitiva reacciona con el sodio adsorbido por el complejo coloidal. Así, una molécula de S origina una molécula de yeso y por lo tanto una tonelada de S va a producir potencialmente 5,38 toneladas de yeso (Sánchez, y otros).

5.2.4 EFECTO DE LAS SALES EN LAS PLANTAS

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones (Alcaraz, 2012). El estrés osmótico se refiere cuando las sales hacen disminuir el potencial osmótico del agua del suelo (Porta, y otros, 1993). En algunos casos la concentración de sales en el suelo llega a ser tan elevada que impide o disminuye la absorción del agua en la planta provocando una sequía osmótica (Azcón, y otros, 2000). La mayoría de las plantas pueden ajustar su potencial osmótico al crecer en suelos salinos y de esta manera prevenir la perdida de turgencia (Taiz, y otros, 1998), pero la presencia de flores y frutos será restringido, disminuyendo los rendimientos

Los síntomas de la planta expuesta a un estrés por sales puede presentarse de forma parecida al estrés por sequía, así como a la marchitez, las hojas se hacen cerosas, el color de la planta se torna en azul verdoso y algunas veces más denso. Los síntomas varían con el estado de desarrollo, siendo más notable si las sales afectan a la planta durante los estados más tempranos de desarrollo.

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que se puede centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (García, y otros).

El estrés salino, como otros tipos de estrés, inhibe el crecimiento de la planta, de hecho el bajo crecimiento de vegetales en zonas salinas es una característica adaptativa de las plantas para sobrevivir a este tipo de estrés. En la naturaleza la capacidad de tolerar la salinidad o la sequía parece estar inversamente relacionada a la tasa de crecimiento. Una causa de la reducción del crecimiento es la inadecuada fotosíntesis debida al cierre estomático y en consecuencia la limitación de la entrada de CO_2. Más importante es, sin embargo, que el estrés inhibe la división celular y la expansión directamente (Alcaraz, 2012).

5.2.4.1 La tolerancia de las plantas a las sales

El grado de tolerancia de las plantas a las sales (Tabla 2) se define en forma general como el grado de desarrollo de las plantas en un medio con presencia de sales, es decir la ausencia de efectos negativos en el desarrollo de la planta ante la acumulación de sal en sus tejidos (Shannon, 1984).

Algunos de los factores que influyen sobre la tolerancia a las sales pueden ser: La etapa de crecimiento, la variedad, la nutrición, el manejo y métodos de riego y el medio ambiente (Cisneros, 1995).

Tabla 2. Rangos de la tolerancia relativa a la salinidad por los cultivos.

Rango de tolerancia relativa de los cultivos a la salinidad	Salinidad del suelo (CEe=mmhos/cm o dS/m) en la cual empieza la pérdida de rendimiento
Susceptibles	<1.3
Moderadamente sensitivos	1.3-3.0
Moderadamente tolerantes	3.0-6.0
Tolerantes	6.0-10.0
Inconveniente para cultivos	>10

Fuente: Maas, y Hoffman, 1977.

La tolerancia de las plantas a condiciones de sodicidad han sido menos estudiada que con respecto a la salinidad. Las plantas menos exigentes en calcio (arroz y otros cereales) son más tolerantes al sodio que las leguminosas. También son más tolerantes aquellas plantas que soportan mejor las condiciones de exceso de agua en el suelo (Porta, y otros, 2003).

5.2.5 EL CULTIVO DEL TOMATE (Lycopersicon esculentum mill)

5.2.5.1 Generalidades del cultivo

El tomate es la hortaliza más importante en el mundo. Constituye el 30% de la producción hortícola, con alrededor de 2.9 millones de hectáreas sembradas y 72 744 000 toneladas de frutos cosechados. Los países en vía de desarrollo contribuyen de manera significativa a la producción mundial con aproximadamente 47 283 600 toneladas, que representan el 65% de dicha producción. Europa y Norteamérica contribuyen con el resto.

En Suramérica se cultivan aproximadamente 159 500 hectáreas (66% para consumo fresco y 34% para industria), para una producción de 5 668 040 toneladas y un rendimiento promedio de 35.53 t/ha, destacándose Brasil y Chile como los mayores productores. Colombia ocupa un cuarto lugar en el área regional con 13 500 hectáreas, 324 000 toneladas de producción y 24 t/ha como rendimiento promedio. En el Valle del Cauca en el año 2008 se sembraron alrededor de 1 756 (ha) con una producción de 41 238 tonelada (t) con una rendimiento de 23 t/ha (FINAGRO, 2012).

5.2.5.2 Clasificación taxonómica

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia solanáceas y al género *Lycopersicon, L. esculentum* (Tabla 3) es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas.

Tabla 3. Contexto taxonómico del género Lycopersicon.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	*Lycopersicon*
Especie	*Esculentum*
Nombre binomial	*Lycopersicon esculentum*
Descriptor (1788)	Miller

Fuente: Jaramillo et al, 2007.

5.2.5.3 Anatomía y fisiología del tomate cultivado

El tomate es una planta perenne, de porte arbustivo que se cultiva como anual. La ramificación es generalmente simpodial, los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o ramas abortivas.

Las hojas son compuestas, imparipinadas con siete a nueve foliolos y una filotaxia de 2/5. La inflorescencia es un dicasio compuesto generalmente por cuatro a doce flores. El fruto es una baya de forma globular, ovoide o aplastada, cuyo peso oscila, según variedades entre 5 y 500 g. Cuando la planta crece directamente de la semilla sin sufrir trasplantes

desarrolla una potente raíz principal que le permite adaptarse a ecosistemas semidesérticos, pero cuando la raíz principal se daña, como por ejemplo a consecuencia del trasplante, se desarrolla un sistema de raíces laterales adventicias.

El tomate puede crecer, florecer y fructificar en una gran variedad de condiciones ambientales que incluye un amplio rango de latitudes, alturas, temperaturas, suelos, métodos de cultivo, entre otros. La temperatura es un factor limitante del cultivo. La ideal es de 25 ºC; por debajo de 15ºC y superiores a 35ºC, la germinación se afecta negativamente (Tabla 4) (Escobar & Cooman, 2001).

Tabla 4. Temperatura óptima para los diferentes estados de desarrollo del tomate.

Estado de desarrollo	Temperatura optima (ºC)	
	Diurna	Nocturna
Germinación	20-25	
Crecimiento	25-27	17-20
Floración	21-25	13-17
Fructificación	25	18
Maduración	24-28	

Fuente: Vallejo, y otros, 2004.

5.2.5.4 Fenología del cultivo

La duración del ciclo del cultivo de tomate está determinada por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece el cultivo, el suelo, el manejo agronómico que se dé a la planta, el número de racimos que se van a dejar por planta y la variedad utilizada.

El desarrollo del cultivo comprende dos fases: una vegetativa y otra reproductiva. La fase vegetativa se inicia desde la siembra en semillero, seguida de la germinación, la emergencia y el trasplante a campo, el cual se realiza con un promedio de tres a cuatro hojas verdaderas, entre 25 a 30 días después de la siembra y a partir del trasplante hasta el inicio o aparición del primer racimo floral.

La fase reproductiva se inicia desde la formación del botón floral, que ocurre entre los 30 y los 35 días después del trasplante, el llenado del fruto, que dura aproximadamente 60 días para el primer racimo, iniciándose la cosecha a los 90 días, con una duración de tres meses para una cosecha de 8 a 10 racimos. En total la fase reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente (Jaramillo, y otros, 2007) (Figura 2).

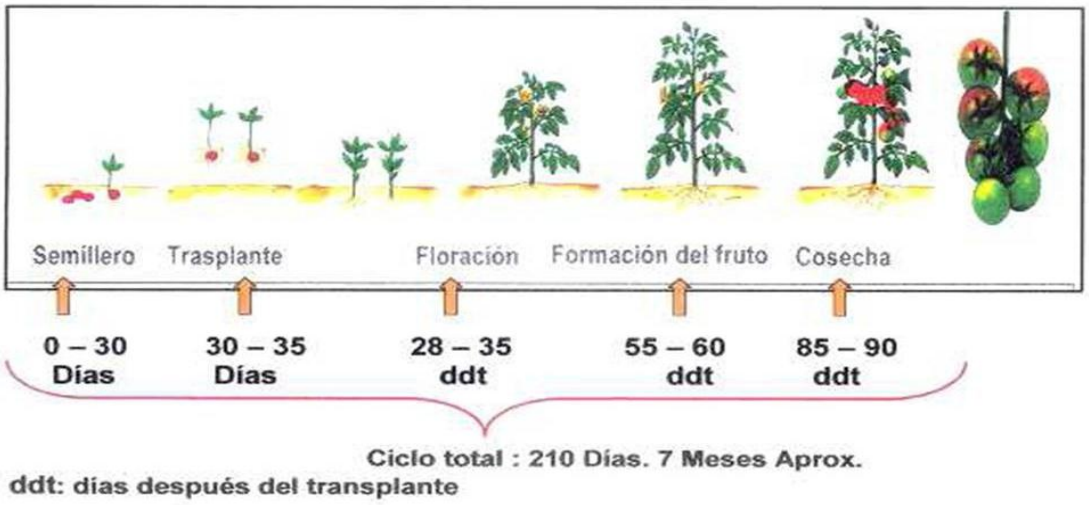


Figura 2. Fases fenológicas de un cultivo de tomate.

Fuente: Jaramillo, et al., 2007.

5.2.5.5 Agronomía del tomate

La planta de tomate crece muy bien en suelos bien drenados que permitan una buena penetración y desarrollo de raíces en un volumen de suelo superficial (30-60cm de profundidad). Las condiciones físicas del suelo deben proporcionar un volumen de suelos que favorezca la adecuada retención de humedad de un cultivo con alta demanda de agua, pero que requiere de muy buena aireación pues no tolera el encharcamiento por varias horas. Los suelos o sustratos de siembra, deben ser además ricos y fértiles naturalmente o permitir su enriquecimiento a través de los aportes externos (Vallejo, y otros, 2004).

El consumo diario de agua por planta adulta de tomate, varía dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del lugar y el tipo de suelo que se tenga; pero en general, el riego depende del tamaño de la planta, población y época del año. La evapotranspiración de la zona y el coeficiente del cultivo kc, es quizás lo más importante a considerar en el riego (Manual del Cultivo del Tomate, 2004).

Bajo condiciones del Valle del Cauca y cultivo a campo abierto, se estima que un cultivo de tomate tipo chonto requiere una lámina efectiva o aprovechable que varía entre 350 – 450 mm en un ciclo de 150 días. Las cantidades totales a suministrar están directamente relacionadas con los requerimientos del cultivo y la eficiencia en el sistema de suministro de agua (Vallejo, y otros, 2004).

5.2.5.6 Efectos de las sales en el tomate.

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) cuando se cultiva en suelos salinos no se encuentra ajeno a una disminución de los rendimientos, puesto que es una especie glicófita, medianamente sensible a las sales y que presenta un umbral respecto al

contenido total de sales, cuantificadas en el extracto de saturación del suelo y expresadas como conductividad eléctrica (CEs) de 2,5 dS/m.

Al examinar los efectos de las sales en la germinación como en los órganos de las plantas de tomates, la gran mayoría son adversos, pocos presentan un carácter positivo. A nivel de germinación, a medida que aumenta la concentración de sales en el medio, el porcentaje de germinación disminuye y el periodo en que este proceso se lleva a cabo se prolonga. Estas respuestas se observan tanto en la especie cultivada como en las silvestres. A pesar de la poca variabilidad genética que se le atribuye al tomate cultivado se han detectado algunos cultivares con mayor tolerancia, como el cv Edkawy. En los tomates silvestres, de gran interés para el mejoramiento genético de la especie cultivada, en las especies *Lycopersicon chilense, L. peruvianum, L. pennellii, L. cheesmanii* y *L. pimpinellifolium* (Goykovic, y otros, 2007).

A nivel de raíces, las sales alteran la absorción de agua afectando el crecimiento de estos órganos; también actúan produciendo efectos tóxicos. La magnitud de las respuestas de las plantas se encuentra estrechamente relacionada con la concentración de las sales, con la duración del estrés a que están expuestas y con la especie de que se trate. La parte aérea de las plantas de tomate igualmente es afectada por la salinidad: las plantas alcanzan una menor altura, las hojas se presentan en menor número y a la vez manifiestan una disminución en su densidad estomática en la cara adaxial, presentan clorosis y necrosis principalmente en los bordes de las hojas. El área foliar también disminuye. Los frutos se afectan adversamente en su rendimiento, pero positivamente en cuanto a algunos atributos organolépticos y/o de interés para la agroindustria, puesto que presentan un mayor contenido de compuestos solubles, sólidos totales, acidez titulable y carotenoides. Para atenuar el efecto adverso de las sales en el rendimiento del cultivo del tomate existe una serie de prácticas agronómicas posibles de implementar, tales como el lavado de los suelos, su micro nivelación, mejoramiento del drenaje, inoculación con micorrizas, aplicación de una fertilización potásica, injerto sobre patrones tolerantes, y uso de mulch, entre otras (Goykovic, y otros, 2007).

5.3 MICORRIZAS

Históricamente, los hongos son los microorganismos que han jugado un papel central en el establecimiento y mantenimiento de los ecosistemas y, como resultado, han desarrollado relaciones mutualistas con muchos organismos diferentes. Una de las relaciones simbióticas más estudiadas y empleadas en la actualidad, *es* la Micorriza la cual está formada por la interrelación entre un hongo y las raíces de una planta hospedera.

Estos microorganismos, que por naturaleza son microorganismos del suelo, el hombre ha logrado aislarlos y reproducirlos de manera vertiginosa, convirtiéndolos en un gran aliado del productor y de personas que lo emplean para diferentes fines y propósitos naturales y ecológicos.

Se conoce con el nombre de micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas y el micelio de hongos del suelo, los cuales establecen una dependencia fisiológica recíproca, prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales. Se caracteriza por la integración estructural y metabólica entre ambos simbiontes que se manifiesta en la nutrición, sanidad, productividad y adaptabilidad de las plantas a las condiciones ambientales. Las micorrizas en general, son factores determinantes en la estabilidad de las comunidades de plantas en los ecosistemas globales. Se han encontrado desde los polos hasta las selvas tropicales y desiertos y se estima que más del 80% de las plantas terrestres son micorrícicas (Sánchez, 2007).

5.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MICORRIZAS

Las micorrizas han sido agrupadas con base en el patrón de colonización que se observa en las plantas asociadas. Los dos principales grupos corresponden a las ectomicorrizas y endomicorrizas que a su vez se subdividen en Ericoides, Orquidoides y Arbusculares como se puede observar en la figura 3. Existe un tipo intermedio denominado ectendomicorriza que incluye Arbutoides y Monotropoides (Read, 1999). A continuación se presenta una descripción de cada clasificación de grupos fundamentales según la estructura de micorriza formada.

5.3.1.1 Ectomicorrizas

Se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Este tipo de micorrización predomina entre los árboles de zonas templadas, se producen principalmente sobre especies forestales y leñosos, siendo especialmente característico en hayas, robles, eucaliptus y pinos. Los hongos que la forman son tanto Basidiomycota como Ascomycota.

5.3.1.2 Endomicorrizas

Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y *arbúsculos*. Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta. Los hongos que la forman pertenecen a la división *Glomeromycota* y se dan en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas. Abundan en suelos pobres como los de las praderas y estepas, la alta montaña y las selvas tropicales. En el bosque atlántico aparecen junto a las ectomicorrizas.

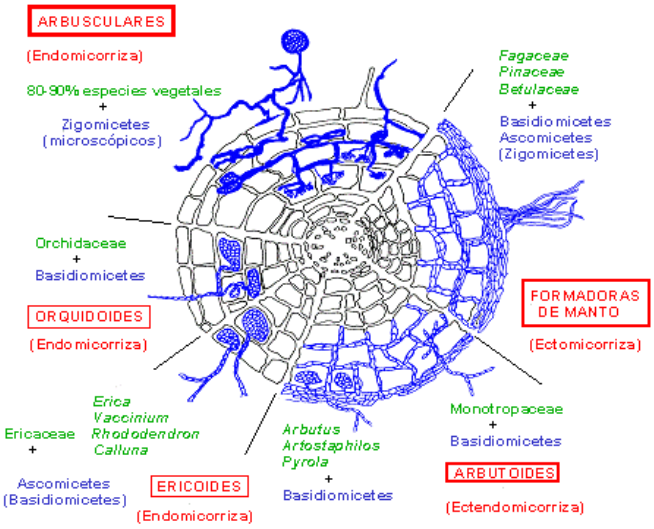


Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de micorrizas.

Fuente: Barea, 1998.

De los diferentes tipos de formación de micorrizas, la micorriza arbuscular (MA) es la de mayor distribución mundial y la especificidad depende del ecosistema. La micorriza arbuscular es el tipo más abundante de micorrizas y se caracteriza porque coloniza las células corticales de raíces de las plantas y forma estructuras intracelulares llamadas arbusculos (Remy, y otros, 1994).

La MA se reporta en más de 200 familias y más de 1,000 géneros de plantas, distribuidas en el grupo de las Briofitas, Pteridofitas, Angiospermas y Gimnospermas, dentro de las cuales se incluyen muchas especies de cultivos importantes en la agricultura, principalmente en gramíneas y leguminosas. Estos hongos forman grandes esporas multinucleadas en el suelo, pero el estado de crecimiento de la hifa depende de la asociación con la raíz de la planta. Los componentes estructurales de los

microorganismos mencionados, resultan de vital importancia en el establecimiento de la simbiosis entre la planta y el hongo (Sanchez, 1999).

5.3.1.3 Componentes estructurales de la MA

Dentro de los componentes fundamentales de las micorrizas se pueden enumerar los siguientes:

- **Micelio Interno**: El micelio interno se inicia cuando una hifa entra en contacto con la raíz, forma un apresorio, penetra la epidermis, da origen a nuevas hifas que crecen entre y al interior de las células corticales, se extienden en ellas y colonizan poco a poco hasta llegar a las células más internas de la corteza.
- **Micelio externo**: Tal vez uno de los cambios más importantes cuando se establece la MA es que ocurre en la interface raíz-suelo, debido al micelio extra radical que, en muchos casos, prolifera en el suelo más que los pelos radicales. La zona ocupada por las hifas externas se ha denominado hifosfera y da lugar al concepto de micorrizosfera.

  El micelio externo conforma una red que se proyecta desde la raíz colonizada y penetra en el suelo. Posee, por una parte, hifas gruesas -más de 27µm de diámetro- que, aunque absorben nutrimentos en especial, sirven de soporte y base temporal al tejido micelial en el suelo, se les denomina hifas "runner". Estas a su vez dan origen a hifas delgadas –dos a siete µm de diámetro-, que se dividen dicotómicamente, se extienden en el suelo, su función se centra en la absorción de nutrimentos para transpórtalos al hospedero, denominadas hifas absorbentes. Su pequeño diámetro les permite explorar los poros más finos del suelo, donde los pelos radicales no alcanzan a penetrar, poniendo de esta manera a disposición de la planta las arcillas, materia orgánica, nutrientes y agua contenidos en ellos (Sanchez, 1999).

Arbúsculos: Se forman a partir de hifas que son filamentos tubulares, que penetran la epidermis radicular hasta llegar a la endodermis sin atravesarla, allí comienza su ramificación, su vida aproximada es de 1 a 3 semanas después de lo cual se colapsa, una parte se reabsorbe hacia el citoplasma hifal y el resto permanece en la célula hospedera rodeados por el plasmalema, son responsables de la transferencia bidireccional de nutrientes (Requena, 1995) (Figura 4).

Figura 4. Microfotografía de un arbúsculo desarrollado de Micorriza Arbúscular.

Fuente: Llewellyn L, 2007

Apresorios: Apéndices especializados del micelio externo de una hifa o tubo germinativo, imitando una bomba, ejerce presión sobre el tejido que se va a colonizar y facilita la penetración del hongo.

Vesículas: Estructuras de almacenamiento cuya formación de sustancias (lípidos) es posterior a la de los arbúsculos y tiene lugar a partir del hinchamiento de una hifa terminal.

5.3.1.4 Coils: Circunvoluciones de hifas intracelulares, implicadas en la absorción inicial de compuestos carbonados por parte del hongo.

5.3.1.5 Células auxiliares: Son estructuras cilíndricas y espinosas, las cuales se forman en hifas gruesas, alrededor de las raíces, son abundantes durante la colonización temprana y luego estas disminuyen cuando la esporulación aumenta (INVAM).

En la Figura 5 se pueden apreciar algunas de las estructuras descritas anteriormente.

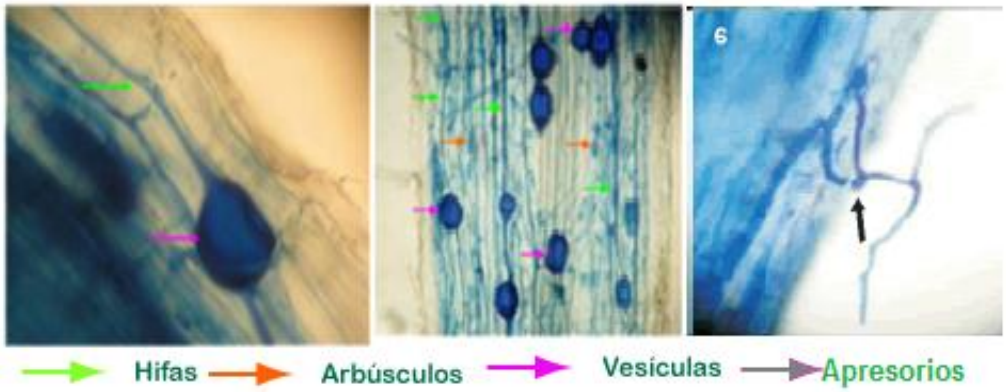


Figura 5. Microfotografía de una micorriza identificando algunas de sus estructuras (hifas, arbúsculos, vesículas y apresorios).

Fuente: MYCOSYM, 2008

5.3.2 Proceso de la colonización micorrizica

La asociación MA es del tipo endomicorrizica, porque el hongo coloniza, de manera obligada, intracelularmente las células corticales y epidérmicas de la raíz, pero no se introducen en su sistema vascular o en sus meristemos. La penetración de la raíz ocurre por medio del apresorio, y el hongo, con frecuencia, se introduce forzando este camino entre las dos células epidérmicas. En el interior de la corteza, la hifa ramificada penetra la pared celular cortical y se diferencia dentro de la célula para formar estructuras terminales altamente ramificadas ó arbúsculos.

Dentro de las diferentes funciones que realizan las micorrizas se encuentran las relacionadas con el estrés hídrico que presentan algunas plantas bajo ambientes salinos, en este punto resulta de gran ayuda el implementarlas (Sanchez, 1999). Se ha demostrado que las plantas micorrizadas sometidas a condiciones de déficit de agua resisten por más tiempo las condiciones de sequía y se recuperan más rápidamente. Uno de los mecanismos que explican este hecho es que el micelio de los hongos micorrizógenos influye en el ambiente edáfico previniendo la formación de claros entre las raíces y el suelo, lo que mantiene la continuidad del líquido en la interfase del suelo y la raíz. Además, las hifas extrarradicales incrementan la zona de captación de agua, e incluso pueden tomar agua del suelo cuando esta se encuentra con un valor de potencial hídrico que no permite que sea extraído por las raíces de las plantas.

De manera general, la asociación micorrízica altera de tal forma las relaciones hídricas, independientemente del tamaño de la planta, que se puede decir que esta influencia es de gran valor ecológico ya que favorece el establecimiento, vigor, productividad y supervivencia de las plantas en un medio con condiciones limitadas de agua. (Sanchez, 1999).

6. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DE PLANTAS MICORRIZADAS BAJO ESTRÉS HÍDRICO

Dell'Amico, et al., 2002 sembraron en condiciones controladas semillas de tomate variedad *Lycopersicon esculentum*, en macetas de 0.5 L previamente autoclaveadas que contenían mezcla de suelo y arena de sílice, a la cual se le agregaron 3 gramos de inoculo de la cepa *Glomus clarum.* Las evaluaciones de los diferentes indicadores de la infección micorrizógena, el crecimiento, las relaciones hídricas y el intercambio gaseoso determinaron que el estrés hídrico afectó el porcentaje de infección micorrizógena de plantas de tomate sometidas a un periodo de supresión de riego de 72 horas y posterior recuperación a las 120 horas. Sin embargo la relativa baja colonización tuvo un efecto estimulante sobre el crecimiento de las plantas inoculadas, siendo más efectivo el desarrollo de la parte aérea que en la raíz. Este mayor desarrollo se observó en un aumento del área foliar, quizás debido a una mayor proporción de síntesis de carbohidratos en las hojas. Este comportamiento fue mantenido durante el periodo de recuperación. Los cambios en el desarrollo experimentados por plantas micorrizadas estuvieron asociados con incrementos en la apertura estomática y la actividad fotosintética y, a su vez acompañados por aumentos en la conductividad hidráulica de las raíces. Aunque el potencial hídrico fue mayor en las plantas estresadas inoculadas que en las no inoculadas, la ausencia de ajuste osmótico en las plantas estresadas provocó un descenso en la turgencia foliar durante el periodo de estrés que fue recuperada cuando el riego fue reanudado.

Medina, L.R. en el 2010 en la Habana, empleo tomate (*Solanum lycopersicon* L.) como planta indicadora y evaluó la efectividad del conglomerado aislado de las cepas en estudio sobre algunos indicadores fisiológicos y bioquímicos, en plantas de tomate sometidas a estrés salino y caracterizó la respuesta nutricional del cultivo a la inoculación con estas cepas, concluyendo así que el conglomerado compuesto por las especies aisladas, fue efectivo en la colonización de las raíces de tomate incrementando la producción de biomasa. Las evaluaciones se realizaron a los 60 días después de germinadas las plantas para la mayoría de los indicadores estudiados; solo en caso de los indicadores de biomasa seca, área foliar y número de hojas se realizó al inicio y final del periodo de estrés. Dentro de los resultados obtenidos se tuvo que, el alto porcentaje de colonización por parte de los tratamientos salinos inoculados probablemente se deba a que, al estar sometidas a condiciones estresantes, las plantas de tomate tienen un mayor grado de dependencia hacia las micorrizas arbúsculares para su supervivencia. Resultados similares fueron encontrados por González-Monterrubio (2003) en plantas estresadas de *Opuntia streptacantha,* que llegaron a alcanzar entre un 60 y 80 % de colonización. Se observan los valores de biomasa seca (MS) obtenidos en raíz, tallo, hojas y planta total. En el análisis de la misma no se encontró interacción significativa entre los factores en estudio, indicando que el desarrollo del cultivo tuvo dependencia tanto de las especies de HMA presentes en el suelo como del nivel de salinidad. Se puede apreciar que en las variantes micorrizadas, en general, la producción de masa seca por órganos y total, fue mayor en comparación con el testigo sin inocular, tanto en condiciones normales (0 NaCL) como bajo estrés salino (50 y 100 NaCl), resultando el conglomerado de cepas procedentes del suelo con alto contenido de sales, en todos los casos, el tratamiento más efectivo en el incremento de este indicador. Al igual que para la variable de biomasa seca, los resultados de los indicadores de área foliar se corresponden con el tipo de inóculo evaluado. Las plantas inoculadas con el

conglomerado de cepas nativas de suelo con altos contenidos de sales presentaron los valores más altos, seguido por los tratamientos micorrizados con *Glomus hoi* like.

Chavez, (2009) en Ecuador, determinó el efecto de las micorrizas en la fertilización fosfórica del cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero, determinando la mejor época de aplicación de las micorrizas y, además de evaluar económicamente los tratamientos Los factores en estudio fueron: la fertilización fosfórica y la época de aplicación de micorrizas, utilizando EcoFungi como fuente de estás. Solo se presentaron diferencias significativas en la altura de la planta, como resultado de la época de aplicación de las micorrizas a los 15 días posteriores al trasplante. La mayor altura se logró con el tratamiento en que se aplicó las micorrizas en el semillero y en el trasplante. No existieron diferencias significativas para el diámetro del tallo entre los factores estudiados o su interacción, sin embargo para la variable número de frutos por planta los mejores resultados se obtuvieron con la inoculación de micorrizas en el semillero y en el trasplante, más la adición de fertilización fosfórica provocando de esta manera una mayor producción. El mayor beneficio neto se obtuvo con la inoculación de Micorriza en el semillero y en el trasplante + fertilización fosfórica. Demostrando el efecto positivo de la aplicación micorrizas en la producción de tomate riñón bajo invernadero razón por la cual se recomiendo su aplicación para asegurar un mejor resultado tanto en el desarrollo del cultivo como en su producción. Finalmente el análisis estadístico permite suponer que tuvo mayor influencia en los resultados la época de aplicación de las micorrizas que la fertilización fosfórica, por lo tanto se puede utilizar micorriza como alternativa dentro de la nutrición del cultivo de tomate riñón; sin embargo no implica que se deba dejar de fertiliza pero si pensar en una disminución del aporte de nutrientes en especial de los que contienen fósforos.

Mujica et al (2006) en la Habana estudiaron esta relación con el objetivo de evaluar la respuesta productiva del cultivo de tomate, *Solanun lycopersicum* L. var Amalia, a la aplicación de inoculantes del género *Glomus* por dos vías diferentes de inoculación: sólido y líquido. Las cepas de HMA empleadas fueron: *G. hoi-like* (INCAM 4) y *G. mosseae* (INCAM 2). La inoculación se realizó en la etapa de semillero, 7 días después de la germinación (DDG). A los 30 y 55 días después del trasplante (DDT) y en la cosecha fueron evaluadas algunas variables del crecimiento: masa seca foliar, altura de las plantas y rendimiento agrícola y para el caso de los parámetros fúngicos se evaluó el porcentaje de colonización radical y número de frutos. Los resultados mostraron que el inoculante líquido tuvo un efecto positivo sobre los indicadores de crecimiento y el rendimiento del tomate.
El efecto de la micorrización sobre la altura de las plantas se demostró en investigaciones precedentes, al inocular diferentes especies de HMA (*G. clarum*, *G. fasciculatum* y *G. mosseae*) en los cultivos de tomate y cebolla, donde se encontró que los tratamientos inoculados superaron al testigo para las variables de altura de la planta y longitud radical en suelos Ferralíticos Rojos compactados. Finalmente se observó una respuesta positiva del cultivo de tomate (*S. lycopersicum* L. var. Amalia) a la inoculación con HMA en soporte líquido al realizar un análisis integral de todos los parámetros estudiados, permitiendo afirmar que al igual que el portador sólido, ambas vías de inoculación son efectivas para dicho cultivo en las condiciones evaluadas.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 LOCALIZACIÓN

El desarrollo del presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Aguas y suelos agrícolas - LASA, perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad del Valle sede Meléndez, en condiciones de invernadero para el control de variables climáticas; este se encuentra ubicado a una altura de 979 m.s.n.m; coordenadas latitud 3° 22´ 22.29´´ N, longitud 76° 31´ 49.22´´E, temperatura promedio de 24°C y una precipitación promedio anual de 1000 mm (Figura 6). El experimento se llevó a cabo entre los meses de septiembre del 2011 y junio del 2012 en dos etapas: una preliminar para conocer las condiciones más adecuadas para el establecimiento de plantas micorrizadas y lograr la colonización deseada y una segunda etapa en donde se estableció el experimento definitivo.

Figura 6. Ubicación del Invernadero del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad del Valle, donde se desarrolló el experimento.

FUENTE: Google Earth, 2012.

7.2 DESCRIPCIÓN DELSUELO

El suelo utilizado provino de la Hacienda “Josepilla” ubicada en el corregimiento de Rozo sobre la vía a Palmaseca en el municipio de Palmira coordenadas latitud 3°34'0.09"N, Longitud 76°24'0.14"O (Figura 7). La zona presenta una temperatura promedio de 32°C y una precipitación anual de 888 mm, cuenta con un área aproximada de 100 hectáreas, las cuales están dedicadas a la ganadería con forrajes nativos (Figura 8), este suelo

pertenece a la asociación Galpón-Palmaseca (GL - PS), localizada en el cuerpo y base de los abanicos recientes formados al pie de la cordillera central en alrededores del aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón del municipio de Palmira. En general, presenta relieves de zona plana y amplitud muy larga, los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son imperfectamente drenados y moderadamente drenados, superficiales a muy superficiales limitados por el nivel freático o por horizontes nátricos, neutros a ligeramente alcalinos y de fertilidad muy variable. Presenta problemas de sodio, con niveles de PSI mayores a 15% y ligeramente salinos con valores de conductividad eléctrica (CE) entre 4 – 8 (dS/m) (ILAMA , 2008).

Figura 7. Ubicación de la Hacienda La Josepilla.

Fuente: Google Earth, 2012.

Las muestras de suelo se tomaron de 4 lotes de la Hacienda, seleccionadas al azar, las cuales presentan las siguientes características.

Lote No1: Suelo Ligeramente Salino.
Lote No2: Suelo Salino.
Lote No3: Suelo Salino.
Lote No.4: Suelo Salino-sódico.

Las muestras recolectadas en las 4 parcelas fueron mezcladas posteriormente, con el fin de homogenizar y obtener una muestra de suelo representativa.

Figura 8. Hacienda la Josepilla con suelo cubierto por forrajes nativos, dedicada a la ganadería.

La muestra representativa de suelo, se secó al aire y se molió con ayuda de un molino de discos, con el fin de homogenizar el tamaño de agregados y adecuarlo para la siembra, además de simular una labranza realizada normalmente en campo. Finalmente el suelo fue tamizado por malla de 4 mm y empacado en bolsas de 5 kg y ocho días antes de trasplantar se empezó a aplicar riego, para tener condiciones de humedad y organización de partículas adecuadas para el establecimiento de las plantas.

7.3 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO

7.3.1 Semillero

Se estableció un semillero, donde se sembró semillas de tomate chonto, variedad Santa Clara en bandejas de acrílico, a las cuales se agregó suelo debidamente tamizado por malla de 4 mm. Se plantaron 3 semillas por división en 56 divisiones por bandeja, para un total de 168 semillas sembradas con micorrizas y 168 sembradas sin micorrizas; se usó una bandeja para cada factor para evitar contaminación. A la bandeja para el tratamiento con micorrizas se le agregaron por hueco 10 g de sustrato de suelo micorrizado producto comercial conocido como Mikorrhyze (GLOMALES DE ANTIOQUIA), el cual es una mezcla de hongos micorricícos de diferentes géneros y de acuerdo con las especificaciones del fabricante, se garantiza una composición de 200 esporas por gramo de suelo (Anexo 2).

El semillero estuvo bajo cubierta y se le aplicó diariamente riego nebulizado con el fin de lograr un óptimo desarrollo de las plántulas. A los 17 días después de la siembra se determinó el porcentaje de germinación, calculado mediante la siguiente relación:

$$\text{Porcentaje de Germinación} = \frac{\text{Numero de plántulas obtenidas a los 17 días} \times 100}{\text{Numero total de semillas plantadas}} \quad (1)$$

7.3.2 Trasplante

El trasplante se realizó a los 20 días después de la siembra, en horas de la mañana, a bolsas de polietileno cada una con capacidad de 5 kilogramos que constituyen la unidad experimental del ensayo (Figura 9). A las plantas sembradas con micorrizas se les agregó nuevamente 20 g de sustrato Mikorrhyze (GLOMALES DE ANTIOQUIA) alrededor de la raíz, con el fin de garantizar la presencia de micorrizas en cada unidad experimental.

La distancia de siembra establecida para garantizar en el espacio disponible un buen manejo y desarrollo del cultivo fue de 0.7m entre líneas y 0.3m entre plantas. Las unidades experimentales se pusieron sobre un plástico grueso y no directamente sobre el suelo para así evitar arvenses, transferencia de humedad, controlar insectos e impedir que las raíces de las plantas de tomate se aferraran al suelo.

Figura 9. Dimensiones de las unidades experimentales empleadas en el ensayo.

Durante los primeros 15 días después de trasplante se aplicó diariamente a todos los tratamientos, la lámina necesaria calculada para llevar a capacidad de campo este tipo de suelo, la cual corresponde al 100% de la lámina bruta, para así facilitar la adaptación y desarrollo de las plantas en el medio. Se realizó nuevos trasplantes, para reemplazar aquellas plantas que no lograron adaptarse y murieron a los pocos días después del trasplante o sobrevivieron pero no lograron desarrollarse.

7.3.3 Tutorados

El tomate por ser una planta herbácea, requiere un sistema de sostén que proteja el follaje y los frutos del deterioro ocasionado por la humedad del suelo y la acción de los microorganismos e insectos plaga (Vallejo, y otros, 2004).

Para el experimento por facilidad de manejo se seleccionó el sistema de tutorado colgado, que consistió en colocar estacones fuertes de aproximadamente 2 metros de altura al

inicio y final de cada surco; en la parte superior de cada estacón se amarro un alambre fuerte calibre12, el cual sostuvo las cuerdas de polietileno que sostenían las plantas. (Figura 10).

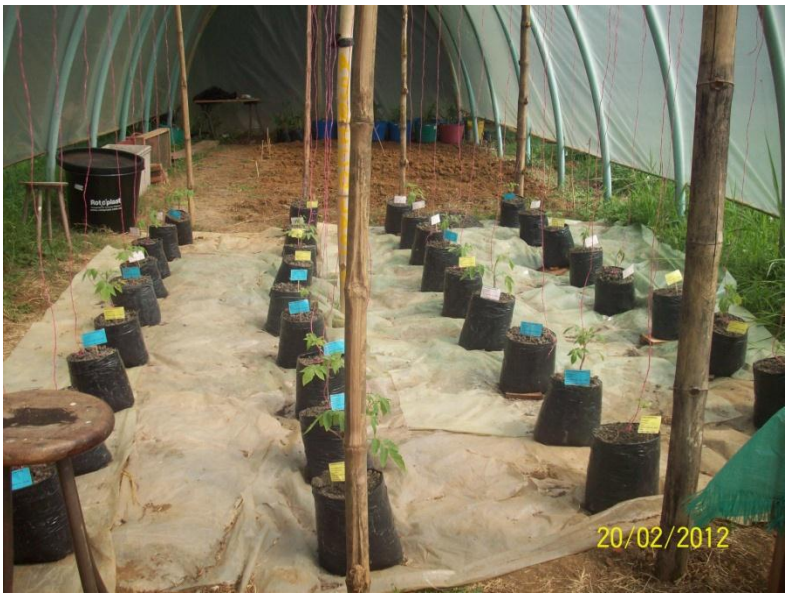


Figura 10. Experimento establecido en el invernadero sobre plástico con sistema de tutorado instalado.

7.3.4 Polinización

Dada la baja presencia de insectos polinizadores y para favorecer la fructificación, se realizó una polinización manual diaria durante 25 días golpeando suavemente los tutores, desde floración del cultivo hasta llenado de frutos.

7.3.5 Fertilización

Al comparar los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del suelo con los requerimientos nutricionales del cultivo para cada etapa fenológica, se encontró deficiencia de nitrógeno en las etapas finales. La fertilización se realizó, utilizando 3,4 g de Urea (46% N) a los 60 días después de trasplante (ddt) y 8,1 g a los 100 ddt, estas cantidades se disolvieron en la cantidad total de agua, para así aplicar la dosis por medio del riego a todas las plantas.

7.3.6 Control de plagas y enfermedades

Se realizó control biológico preventivo de plagas, aplicando preparados de tabaco, ruda, citronela y manzanilla con el fin de repeler y eliminar ácaros, hongos y en especial insectos, hasta los 28 ddt.

El cultivo presento síntomas de *pythium*, enfermedad causada por hongos que crecen de forma indefinida en el suelo y atacan en el momento de la germinación o después de nacer las plantas dañando las raíces y la parte inferior del tallo (Ramon, y otros, 2007) por

lo que se procedió a eliminar las plantas afectadas y a aplicar preparados de manzanilla en el suelo. Así mismo, hubo presencia de minador (*Scrobipalpula absoluta*) larva de color amarillo pálido que se introduce en las hojas, produce enrollamiento de las mismas y destrucción del tejido (Ramon, y otros, 2007). Para controlarlo se aplicaron preparados de tabaco y ante la persistencia de la plaga en el cultivo, se empezó a fumigar cada 15 días a partir del día 30 ddt con Vertimec, un fungicida químico, aplicado con bomba en dosis de 1 ml por litro de agua.

7.3.7 Poda

Desde el inicio del experimento se realizó una poda de formación a una rama o tallo, la cual consistió en eliminar todos los brotes o ramas axilares, y solo se dejó el tallo. Esta poda se inició a los 15 ddt, y se continuó haciendo cada 15 días durante todo el experimento, con el fin de brindarle a la planta un crecimiento equilibrado y balanceado teniendo en cuenta la distancia de siembra. También se realizó una poda sanitaria cada 15 días que consistió en eliminar hojas, tallos y ramas viejas, enfermas o dañadas que aparecieron durante el crecimiento, con el fin de eliminar o reducir fuentes de enfermedades o plagas. Para cada poda se desinfectaron las tijeras utilizadas con hipoclorito de sodio antes y después de cada corte.

7.3.8 Riego

Durante los primeros 15 ddt se aplicó la lámina correspondiente al 100% a todas las plantas, a partir del día 16 se empezaron a aplicar las láminas correspondientes según el tratamiento de cada planta. Las diferentes láminas de riego se fueron variando según la etapa en la que se encontró la mayor parte del cultivo (Tabla 5) y se aplicaron manualmente midiendo el volumen correspondiente a cada tratamiento con una probeta de vidrio (Figura 11).

Figura 11. Medición de la lámina de riego a aplicar para cada tratamiento.

La lámina a aplicar en los diferentes tratamientos se calculó para cada etapa fenológica del cultivo, teniendo en cuenta las características del suelo, cultivo y clima a manejar en el experimento. Los datos del suelo se hallaron promediando los resultados de análisis físicos del suelo, realizados por el Laboratorio del Ingenio Providencia con anterioridad a cada uno de los lotes de la hacienda (Anexo 1). Los datos del cultivo se obtuvieron por revisión de bibliografía y algunos se modificaron para adaptarse mejor a las condiciones del ensayo. El dato de evapotranspiración se determinó promediando los datos de evaporación adquiridos entre Mayo y Diciembre del 2011, obtenidos mediante un tanque evaporímetro prototipo a escala del tanque evaporímetro clase A, debidamente calibrado e instalado dentro del invernadero.

Tabla 5. Etapas del cultivo, según las cuales se varió el Kc a lo largo del experimento.

Etapa del cultivo	Descripción	ddt*
1	Inicio del cultivo	1-30
2	Alto crecimiento	31-51
3	Cultivo de floración	52-98
4	Cultivo de llenado de frutos y cosecha	98-125

*ddt días después del trasplante

Tabla 6. Cálculo de las láminas de riego para cada etapa del cultivo de tomate.

	Etapa del cultivo			
Datos	1	2	3	4
Kc	0.45	0.75	1.15	0.85
Eto	2.6	3.0*	2.6	2.6
Etc (mm/día)	1.17	1.95	2.99	2.21
Pmp	0.1378	0.1378	0.1378	0.1378
CC	0.3829	0.3829	0.3829	0.3829
Da (gr/cm3)	1.15	1.15	1.15	1.15
Ps (cm)**	5	20	40	40
F	0.3	0.3	0.3	0.3
Eficiencia	1	1	1	1

* Las láminas para la etapa 2 del cultivo se calcularon para una evapotranspiración (Eto) igual a 3 y no a 2.6 como en las otras etapas, esto debido a que la temperatura en el mes de Marzo (31-51 ddt) estuvo por encima de los 29 ºC.

** Según Vallejo & Estrada, 2004 la profundidad efectiva de raíces (Ps) para las etapas 3 y 4 del cultivo es de 60 cm, para efectos del experimento se modificó a 40 cm al calcular la lámina de riego debido a que esta era la profundidad máxima de las materas donde se estableció el cultivo.

Teniendo los datos necesarios y reemplazando en las ecuaciones correspondientes (2,3 y 4) se calculó la lámina de riego necesaria para este tipo de suelo y cultivo. Esta se disminuyó en un 10% y 20% según el tratamiento.

$$LARA = ((CC - PMP) \times Da \times Ps) \times f \quad (2)$$

Dónde:
LARA: Lámina rápidamente aprovechable.
CC: Humedad a capacidad de campo.
PMP: Punto de marchitez permanente.
Da: Densidad aparente.
Ps: Profundidad efectiva de raíces.
f: Nivel de agotamiento del cultivo.

$$LB = LARA \times Ef \quad (3)$$

Dónde:
LB: Lámina bruta.
Ef: Eficiencia de aplicación estimada.

$$Fr = \frac{LARA}{Etc} \quad (4)$$

Dónde:
Fr: Frecuencia de riego.
Etc: Evapotranspiración del cultivo.

7.3.9 Cosecha

Se realizó manualmente por planta conforme maduraban los frutos y al mismo tiempo se pesó cada fruto (Figura 12).

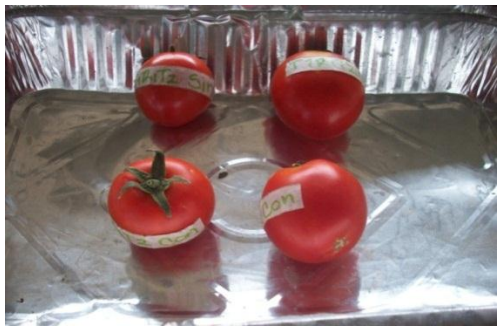


Figura 12. Frutos cosechados y marcados con su respectivo tratamiento.

7.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar, el cual presentó un arreglo factorial de 3x2, en donde el primer factor correspondió a la lámina de riego, con tres niveles equivalentes al porcentaje de la lámina a utilizar (100%, 90% y 80% de la LB); el segundo factor correspondió a la presencia de micorrizas, con dos niveles, con y sin micorriza, 3 tratamientos con micorrizas y 3 tratamientos sin micorrizas. En total se tuvieron 6 tratamientos, con 3 repeticiones, en 2 momentos de tiempo a los 80 y a los 125 días después del trasplante (Tabla7). Por lo tanto se contó con 36 unidades experimentales, cada unidad experimental consistió en una planta de tomate chonto variedad "Santa Clara" sembrada bajo invernadero, en bolsas de polietileno de 5 kg de capacidad. En la figura 13 se muestra la aleatorización de las unidades experimentales dentro del invernadero.

Tabla 7. Tratamientos empleados en el desarrollo del trabajo de investigación*.

Tratamiento	Lámina en % de LB	Presencia de micorriza	Descripción
T1	100	CM	100% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, más adición de sustrato con hongos micorrizógenos.
T2	90	CM	90% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, más adición de sustrato con hongos micorrizógenos.
T3	80	CM	80% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, más adición de sustrato con hongos micorrizógenos.
T4	100	SM	100% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, sin adición de sustrato con hongos micorrizógenos.
T5	90	SM	90% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, sin adición de sustrato con hongos micorrizógenos
T6	80	SM	80% de la lámina necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo, sin adición de sustrato con hongos micorrizógenos.

*CM (con micorrizas) hace referencia a las plantas inoculadas con micorrizas y SM (Sin Micorrizas) hace referencia a las no inoculadas.

T1R2t2	T5R1t2	T6R2t2	T4R2t2
T3R1t2	T3R1t1	T3R3t2	T3R2t2
T4R3t1	T5R2t2	T6R3t1	T2R3t2
T2R2t1	T2R1t2	T1R1t1	T6R2t1
T1R2t1	T4R3t2	T2R1t1	T3R2t1
T6R1t1	T4R1t1	T6R1t2	T5R2t1
T6R3t2	T4R1t2	T4R2t1	T2R2t2
T3R3t1	T1R3t2	T1R1t2	T5R1t1
T1R3t1	T2R3t1	T5R3t1	T5R3t2

Figura 13. Esquema disposición de las unidades experimentales, donde T corresponde a los tratamientos, R a las repeticiones por tratamiento, t a los tiempo evaluados (t1=80 y t2=125 ddt).

De acuerdo al diseño completamente al azar, el modelo estadístico utilizado es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

Donde $\boldsymbol{y_{ij}}$ es la variable respuesta de la j-ésima réplica del i-ésimo tratamiento, $\boldsymbol{\mu}$ es la media global común a todos los tratamientos, $\boldsymbol{\tau_i}$ es el efecto del i-ésimo tratamiento y $\boldsymbol{\varepsilon_{ij}}$ es el error aleatorio debido a factores no controlados o no controlables.

7.5 VARIABLES EXPLICATIVAS

7.5.1 pH

Para la determinación del pH se usó una relación suelo- agua 1:1, volumen/volumen. Se hicieron 3 pruebas por matera para cada prueba se tomaron 25 cm^3 de suelo seco y macerado y se le adicionaron 25 cm^3 de agua destilada, la solución se agitó cada 10 minutos durante media hora, una vez calibrado el potenciómetro se realizó la medición. Esta variable se midió al final de cada tiempo es decir a los 80 y 125 ddt.

7.5.2 Conductividad eléctrica (CE)

Para la determinación de la CE se usó una relación suelo- agua 1:2, volumen/volumen. Se hicieron 3 pruebas por matera para cada prueba se tomaron 40 cm^3 de suelo seco y macerado y se le adicionaron 80 cm^3 de agua destilada, la solución se agitó por 10 minutos, se dejó asentar y posteriormente se filtró, una vez obtenido el extracto del suelo

se procedió a introducir en este el conductímetro y tomar la respectiva lectura. Esta variable se midió a los 80 y 125 ddt.

7.5.3 Porcentaje de germinación

Se determinó en la etapa de semillero del cultivo, haciendo un conteo de plántulas a partir de los 7 hasta los 17 días después de siembra para cada tratamiento, conociendo el número de semillas plantadas con y sin micorrizas y tomando este valor como el 100%.

7.6 VARIABLES EVALUADAS

7.6.1 Variables de Infectividad de los hongos micorrizógenos

7.6.1.1 Porcentaje de infección micorrízica

Para determinar esta variable previamente se tiñeron las muestras de tejido radicular seleccionadas teniendo en cuenta que fueran raíces finas menores a 1mm de diámetro para facilitar la absorción de reactivos y permitir la visualización de la estructuras micorrízicas presentes en las raíces (Figura 15). La tinción se realizó con una solución colorante de tinta azul (sheaffer) al 5% en vinagre de uso doméstico (vinagre blanco natural 4%) (Anexo 7).

Posteriormente se llevaron las muestras teñidas al microscopio (Figura 14) donde se determinó el porcentaje de infección micorrízica por el método de intersección de campos en placa (Anexo 8), el cual tiene la ventaja de que considera la longitud del sistema radical, arrojando valores más reales de colonización.

Figura 14. Determinación del porcentaje de infección micorrízica por el método de intersección de campos en placa.

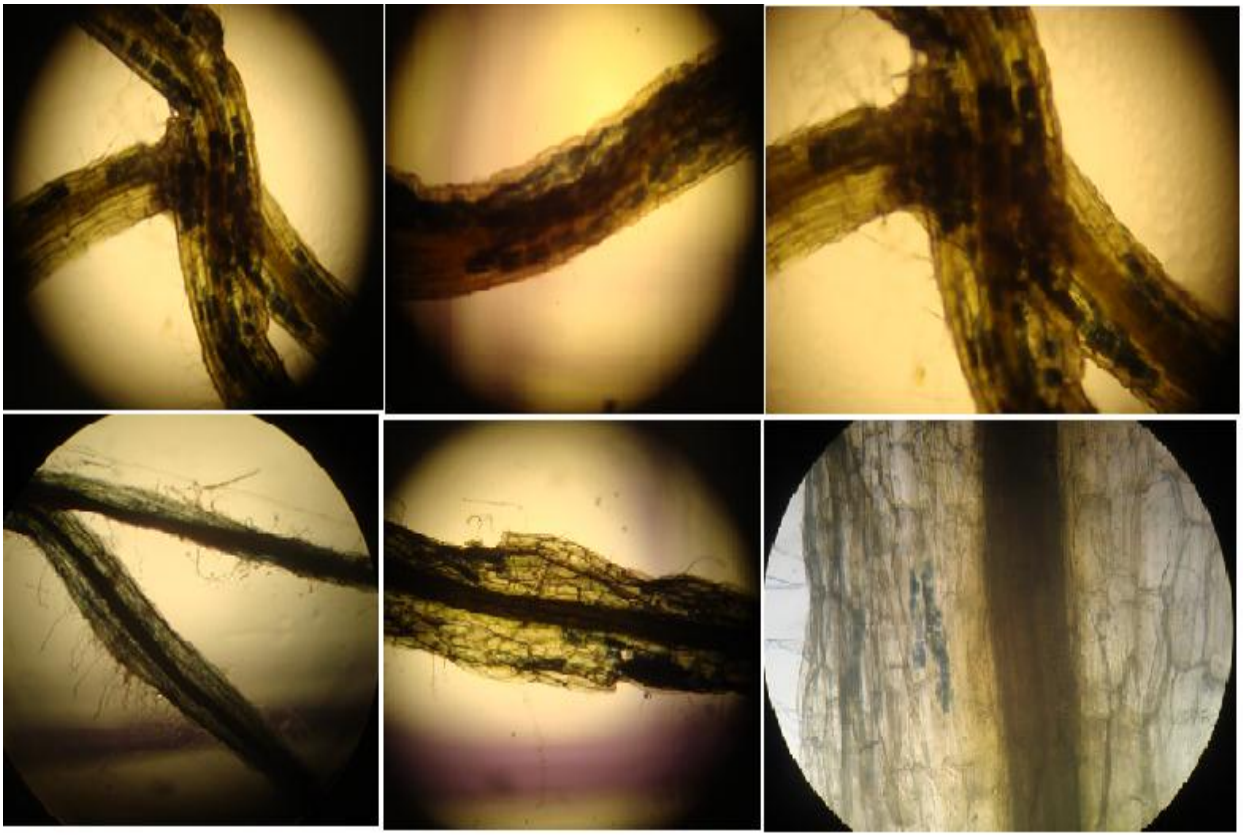


Figura 15. Estructuras micorrízicas identificadas con ayuda del microscopio en raíces de plantas de tomate chonto previamente teñidas.

Una vez recolectados los datos para cada tratamiento se reemplazaron en la siguiente ecuación:

$$\%\, Infección\ micorrizica = \left(\frac{C}{T}\right) \times 100 \quad (6)$$

Dónde:

C= Número de campos colonizados por cualquier estructura de HMA.
T= Número total de campos observados.

7.6.2 Variables morfológicas

7.6.2.1 Longitud parte aérea (LA).

Se midió con un flexómetro, se consideró la longitud desde el nivel del suelo hasta la hoja más alta de las planta. Se evaluó desde el trasplante cada 8 días hasta el momento de destruir las plantas.

7.6.2.2 Longitud radical (LR)

Se midió con un flexómetro, se consideró la longitud desde la base del tallo de la planta hasta la punta de la raíz más larga. Se midió al momento de destruir para cada tiempo.

7.6.2.3 Diámetro de tallo (DT)

Se midió con un pie de rey, se tomó como punto de referencia para la medida, la mitad de la longitud de la parte aérea. Se evaluó cada 8 días hasta el momento de destruir.

7.6.2.4 Área foliar (AF)

Se tomó una muestra de 5 hojas por planta, se registró el peso de cada hoja, posteriormente con un saca bocado se sacaron 3 círculos de área conocida de cada hoja y se pesaron. Teniendo estos datos se sacó un promedio de pesos por planta y se procedió a hacer una regla de tres simple para hallar el área de la hoja completa. Para las plantas del primer tiempo esta variable se midió a los 42 ddt y para las del segundo tiempo se midió a los 85 ddt

7.6.3 Variables de rendimiento

7.6.3.1 Número total de frutos

Se cosecharon y contaron los frutos de cada planta en todos los tratamientos. Esta variable solo se analizó para el tiempo 2 es decir a los 125 ddt, debido a que a los 80 ddt no había aun frutos maduros.

7.6.4 Variables de Biomasa

7.6.4.1 Materia seca de frutos (g)

Se tomaron los frutos maduros de cada planta y se secaron en horno a 72 ºC por 72 horas. Se registró el peso fresco y seco de cada fruto.

7.6.4.2 Materia seca de raíz (g)

Para esta variable primero se lavaron varias veces las raíces de las plantas, se dejaron secar a temperatura ambiente 24 horas y posteriormente fueron secadas en una estufa a 40 ºC por 72 horas. Se tomó el peso de las raíces antes y después de meterlas en el horno.

7.6.4.3 Materia seca de tallo (g)

A cada planta se le cortó el tallo fresco en trozos y luego se secó en horno a 40 ºC por 72 horas. Se registró el peso de los tallos frescos y secos.

7.6.4.4 Materia seca de hojas (g)

Se cortaron una a una todas las hojas de cada planta y con el procedimiento anterior utilizado para tallos se obtuvo el peso fresco y seco total de las hojas por planta.

7.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó la estadística descriptiva analizando el efecto de los factores empleados en el experimento por separado e interactuando y el ANOVA para cada variable evaluada en los dos tiempos de medición con la ayuda del programa estadístico Minitab 16 y las herramientas básicas de Excel. Para aquellos casos donde la ANOVA mostró diferencias significativas se realizó comparación de medias por medio de la prueba de Tukey con un 95% de confiabilidad para las variables. Por otra parte se determinó el coeficiente de variación (CV) (7), para cada una de las variables de respuestas, se considera dicho coeficiente como una medida de variabilidad relativa (sin unidades de medida) cuyo uso es para cuantificar en términos porcentuales la variabilidad de las unidades experimentales frente a la aplicación de un determinado tratamiento. En experimentación no controlada (condiciones de campo, experimentos agrícolas) se considera que un coeficiente de variabilidad mayor a 35% es elevado por lo que se debe tener especial cuidado en las interpretaciones y/o conclusiones (Scribd).

$$CV = \frac{S}{X} \times 100 \quad (7)$$

Dónde:

S: Desviación típica, es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media aritmética del conjunto de observaciones ($S^2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - X)^2}}{n}$), este valor se obtuvo con el programa Minitab 16.
X: Media de cada variable, determinada en la estadística descriptiva.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 DETERMINACIÓN DE LAS LÁMINAS DE RIEGO

En la tabla 8 se muestran las láminas calculadas y aplicadas en el experimento de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo para cada tratamiento con micorriza y sin micorriza (T1 y T4 100% de LB; T2 y T5 90% de LB; T3 y T6 80% de LB) destacándose que para la tercera fase del cultivo se presenta la lámina más alta, debido a que en esta fase la planta requiere de una mayor demanda de agua para formar el fruto.

Tabla 8. Láminas de riego en mililitros aplicadas según etapa del cultivo y tratamiento.

		Etapa del cultivo			
	Tratamiento	1	2	3	4
Lamina (ml)	T1 y T4	49	84	107	78
	T2 y T5	44	76	96	70
	T3 y T6	41	67	86	62

8.2 DESCRIPCIÓN DEL SUELO

El suelo usado presentó textura arcillo limosa, con baja porosidad, muy alcalino, no salino, con un bajo contenido de materia orgánica, hierro y Zinc y con un contenido alto o muy alto de bases intercambiables y demás micro y macro nutrientes (Tabla 9).

Tabla 9. Datos promedio y descripción de los resultados obtenidos en el análisis de suelos realizado con anterioridad por el laboratorio del Ingenio Providencia.

	Promedio Análisis de suelos		Interpretación (ICA, 1992)
	pH (V:V)	8.2	Muy alcalino. Se inhibe crecimiento mayoría de cultivos
	CE (ds/m)	1.3	No salino
	MO (%)	1.2	Bajo (Para clima templado y cálido)
	P (mg kg^{-1})	45.2	Alto
Cationes intercambiablescmol (+)/kg	Ca	13.1	Alto
	Mg	9.3	Alto
	K	1.7	Alto
	Na	11.7	Muy Alto
	CIC	35.9	Alto
	PSI	30.7	Muy Alto. Indicador de suelo sódico o salino-sódico
Saturación de bases %	Ca	38.3	Medio
	Mg	26.2	Alto
	K	4.8	Alto
	Na	30.7	Muy alto
Micronutrimentos mg kg^{-1}	Cu	2.7	Medio
	Fe	9.1	Bajo
	Mn	10.6	Alto
	Zn	0.6	Bajo
	Textura	ArL	

8.3 VARIABLES EXPLICATIVAS

8.3.1 pH

Con base en los datos hallados de pH para cada unidad experimental (ANEXO 3), se puede decir que en general se trabajó con un suelo moderadamente alcalino con valores que permiten catalogarlo como sódico, resultado que concuerda con los resultados expuestos en la tabla 9.

8.3.2 Conductividad Eléctrica

Analizando los datos encontrados para la variable conductividad eléctrica en cada unidad experimental (ANEXO 3), se puede decir que las condiciones de salinidad variaron entre materas obteniendo niveles de salinidad desde inapreciables (todos los cultivos pueden soportarla) hasta media (solo los cultivos medianamente tolerantes pueden soportarla). En la Figura 14, se muestra el grado de salinidad presente en cada unidad experimental.

T1R2t2	T5R1t2	T6R2t2	T4R2t2
T3R1t2	T3R1t1	T3R3t2	T3R2t2
T4R3t1	T5R2t2	T6R3t1	T2R3t2
T2R2t1	T2R1t2	T1R1t1	T6R2t1
T1R2t1	T4R3t2	T2R1t1	T3R2t1
T6R1t1	T4R1t1	T6R1t2	T5R2t1
T6R3t2	T4R1t2	T4R2t1	T2R2t2
T3R3t1	T1R3t2	T1R1t2	T5R1t1
T1R3t1	T2R3t1	T5R3t1	T5R3t2

0–2 mmhos/cm – No Salino

2-4 mmhos/cm – Ligeramente salino

4–8 mmhos/cm– Medianamente Salino

Figura 16. Disposición en campo y grado de salinidad presente en cada unidad experimental.

8.3.3 Porcentaje de germinación

En un suelo sin problemas de salinidad o sodicidad se requieren entre seis y ocho días en promedio para que las semillas de tomate germinen plenamente. Fuera de la buena calidad de la semilla, la velocidad y porcentaje de germinación están influenciados por la temperatura óptima, la humedad y tipo de suelo, el cual debe estar a capacidad de campo (Jaramillo, y otros, 2007).

Los resultados de los ensayos de germinación se usan a menudo para calcular la cantidad de semilla que debe sembrarse para obtener una cierta cantidad de plántulas. Sin embargo, debe recordarse que la cantidad real de plántulas sobrevivientes puede ser muy inferior a la que indica los ensayos de germinación, por las pérdidas debidas a condiciones climáticas desfavorables, plagas o enfermedades (Folliot, y otros, 1983).

La Tabla 10 muestra la cantidad de semillas que germinaron en el tiempo en un suelo sódico con y sin adición de micorrizas, así como el porcentaje de germinación final obtenido.

Tabla 10. Influencia de las micorrizas en el porcentaje de germinación de plántulas de tomate variedad Santa Clara en suelo básico.

	Número de plántulas	
Días después de siembra (dds)	Con Micorrizas (CM)	Sin Micorrizas (SM)
7	53	24
8	74	28
9	78	32
12	78	34
Porcentaje de Germinación	46.4 %	20.2 %

Los resultados obtenidos muestran que las semillas sembradas con adición de hongos formadores de micorriza obtuvieron una mayor velocidad de germinación y un porcentaje final de germinación que duplica el de las semillas plantadas sin adición de micorrizas (figura 15). Lo anterior indica que la presencia de micorrizas a nivel de semilleros afecta de manera positiva la germinación de las plantas, esto se debe a que al germinar la semilla en un sustrato micorrizado se desencadena un proceso simbiótico que comienza cuando las esporas son atraídas por las sustancias que segregan las raicillas de la plántula estableciendo una interacción en la cual el hongo desarrolla una redecilla de hifas la cual aumenta el volumen de suelo explorado por la plántula y favorece la extracción y transporte de minerales del suelo y agua hacia las células de la raíz. (Neyoy Siari, 2012). Aun así el porcentaje de germinación obtenido para ambos tratamientos fue mucho menor al garantizado por la casa distribuidora de semillas el cual estaba entre 85% y 95%, esto se debe a que el porcentaje de germinación disminuye con el aumento de la salinidad o sodicidad, y a la vez se prolonga el periodo de germinación (Tomoto and salinity, 1999).

8.4 EFECTO DE LA INOCULACIÓN CON MICORRIZAS EN VARIABLES MORFOLÓGICAS DEL CULTIVO

Realizando el análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta con respecto a los factores por separado, se encontraron diferencias significativas a los 80 ddt para la variable Área Foliar (AF) con respecto al factor presencia de micorrizas y al factor porcentaje de lámina y a los 125 ddt, para las variables Área Foliar (AF) con respecto al factor porcentaje de lámina, Longitud Radical (LR) y Nº de Frutos (NF) con respecto al factor presencia de micorrizas. En el análisis de varianza se determinó también la interacción de cada una de las variable de respuesta con respecto a los dos factores analizados encontrando que para gran parte de las variables en los dos tiempos no hubo

suficiente evidencia para que la interacción fuera significativa (P>0.05). Se presentó interacción significativa de los dos factores empleados a los 80 días ddt para las variables Área Foliar (AF), Longitud Radical (LR) y Masa Seca de Hojas (MSH), a los 125 días ddt no se presentó interacción significativa para ninguna de las variables evaluadas. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las variables evaluadas.

8.4.1 Variables de infectividad de los hongos micorrizógenos

8.4.1.1 Porcentaje de infección micorrízica (%INF)

El comportamiento del porcentaje de infección micorrizógena en el tiempo 1 y 2 (80 y 125 ddt respectivamente) se muestra en la figura 17. Para esta variable no se encontró diferencia significativa entre los diferentes factores para ninguno de los dos tiempos, lo cual indica que en este experimento la lámina no influyo en la simbiosis desarrollada entre la raíz de la planta y el hongo micorrizógeno. Al analizar el efecto de la interacción de los tratamientos en las variables se determinó que esta no resulto ser significativa en ninguno de los tiempos. Se encontró CV de 21.7% para el tiempo 1 y 24.6% para el tiempo 2, que indican baja variabilidad.

Vale la pena recordar que a los tratamientos T1, T2 y T3 se les adicionó micorrizas (CM), mientras que a los tratamientos T4, T5 y T6 no se les agregó sustrato (SM). Se observó que para el tiempo 1 se obtuvieron medias que variaron entre 68% y 57.5% para las plantas de los tratamientos T1 y T3, a las cuales se les adicionó sustrato micorrízico y entre 26.3% y 18.7% para T6 y T4 respectivamente para las plantas a las que no se les adicionó sustrato micorrízico, mostrando claramente que en todas las plantas hubo colonización, lo que indica la presencia de micorrizas nativas en el suelo; sin embargo, se presentó un porcentaje mucho más alto de colonización en las plantas a las cuales se les adicionó sustrato con hongos micorrízicos. Para el tiempo 2 se tuvieron medias que varían entre 59.9% y 49.7% para las plantas de los tratamientos T3 y T1 respectivamente y entre 53.3% y 31.5% para T5 y T4 respectivamente, al comparar estos resultados con los porcentajes del tiempo 1, se muestra el marcado aumento que se presenta en la colonización de las plantas T4, T5 y T6 (SM), en contraste con las plantas de los tratamientos T1, T2 y T3 (CM), en las cuales se presenta una leve disminución. Este comportamiento en la colonización micorrízica puede ser debido a las condiciones del suelo, ya que entre los factores abióticos este ha mostrado ejercer un control en las comunidades de micorrizas. Los cambios permanentes en el ambiente edáfico son un reflejo del dinamismo existente y se observa en parámetros como humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, debido a condiciones naturales o al efecto de las prácticas culturales para mejorar la productividad de cultivos; adicionalmente el suelo puede sufrir procesos de degradación y contaminación con sustancias químicas tóxicas para plantas y micro-organismos. En estas condiciones la formación y función de HMA puede verse afectada, encontrándose que el ambiente del suelo puede favorecer el desarrollo de HMA

en un momento y reducirlo en otro, bien por efectos directos sobre las comunidades de HMA o en forma indirecta por sus efectos sobre la planta hospedera (Perez, y otros, 2011)

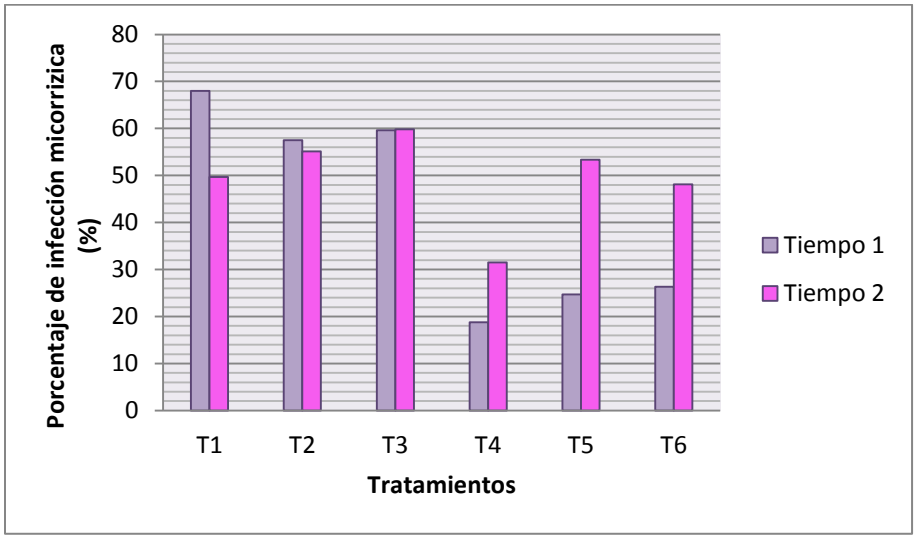


Figura 17. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable porcentaje de infección micorrízica de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

8.4.2 Variables morfológicas de la planta de tomate

8.4.2.1 Longitud Aérea (LA)

La figura 18 muestra el comportamiento de la longitud aérea para todos los tratamientos, la cual estuvo entre 13 cm y 98.67 cm. Las mayores alturas se obtuvieron para las plantas micorrizadas que corresponden a los tratamientos T1, T2 y T3, mostrando que la relación simbiótica contribuye en el desarrollo vegetativo de la planta. Al comparar las distintas láminas de riego se puede observar que la mayor longitud se consiguió con el 100% (T1) de la lámina bruta micorrizada. Es interesante observar que las plantas no micorrizadas con láminas de riego inferiores (T5 y T6) no llegaron a la semana 10, ya que murieron en esta etapa del cultivo, lo que indica que resultaron ser menos resistentes que las plantas micorrizadas a las condiciones de estrés a las cuales fueron sometidas. Esto se debe a que la presencia de micorrizas en las plantas, desde que inicia su desarrollo, favorece en cierta medida su crecimiento y la resistencia de estas a condiciones de estrés (Páez, y otros, 2006). Estudios similares realizados en tomate mostraron un aumento del 13,2% en la variable longitud aérea para aquellas plantas micorrizadas (Lopez) Resultado que resulta similar al obtenido en este experimento ya que se puede considerar que las plantas micorrizadas mostraron un aumento del 15% en su longitud aérea respecto a las no micorrizadas.

Se observó una tendencia lineal sin variaciones significativas durante todo el experimento para las plantas T1, T2 y T3 (plantas con adición de sustrato micorrízico). Para las plantas

T4 el único tratamiento no inoculado que resistió hasta el final del experimento, se observó un comportamiento lineal hasta la semana 10, a partir de la cual se presentó un aumento significativo en su longitud; este se puede atribuir al hecho de que en estas plantas la presencia de frutos fue casi nula, por lo que su desarrollo se centró en el crecimiento vegetativo.

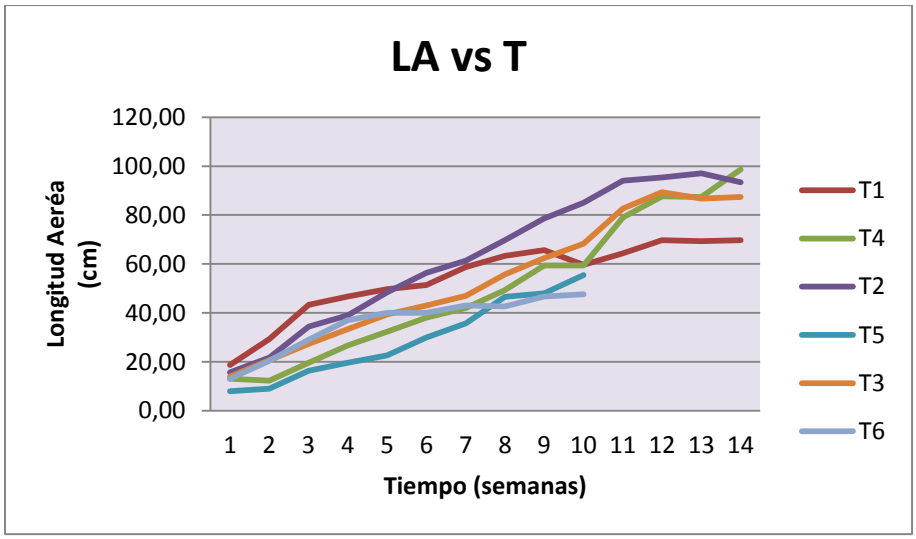


Figura 18. Dinámica del crecimiento de las plantas de tomate para todos los tratamientos desde la semana 1 hasta la semana 14.

En la figura 19 se muestra el comportamiento de la variable longitud aérea (LA), al aplicar las diferentes láminas de riego en las plantas de los tratamientos T1, T2 y T3 (CM) y los tratamientos T4, T5 y T6 (SM) para el tiempo 1 que corresponde a los 80 días después del trasplante (ddt) y para el tiempo 2 que corresponde a 125 ddt. Según el análisis estadístico no se presentan diferencias significativas entre los diferentes factores para ninguno de los dos tiempos. En la figura 20 se muestra la interacción de los factores en el tiempo 1, en esta se observa que las rectas no son paralelas esto indica que la interacción es significativa (P= 0,021), para el tiempo 2 dicha interacción no fue significativa por lo tanto no se graficó. Obteniendo para el tiempo 1 un CV de 28.6% y para el tiempo 2 un CV de 19% valores indican que la muestra es heterogénea pero aceptable (Montgomery , y otros).

En el tiempo 1 para el tratamiento T2 se obtuvieron las plantas más altas con una media de 82.3 cm, las plantas de menor altura tuvieron una media de 45 cm, correspondientes a T3 y T5. En el tiempo 2 se encontraron las plantas T5 como las más altas con una media de 103.4 cm, resultado que difiere de lo esperado en el tiempo, debido a que estas plantas presentaron la media más baja en el tiempo 1. Este comportamiento también se puede ver en las plantas T1, T2 y T4 las cuales presentaron la mayor longitud en el tiempo 1, mientras que en el tiempo 2 se presentó un comportamiento completamente contrario, es decir la mayor longitud aérea se obtuvo para las plantas T4, T5 y T2. El comportamiento observado en el tiempo 1 podría explicarse basados en e*studios*

realizados en zonas o regiones, en las cuales los factores importantes para la producción agrícola se encuentran por debajo del estado óptimo para el desarrollo de las plantas (dunas de arena, suelos pobres, superficies devastadas, entre otras.), muestran un aumento significativo en el crecimiento de las plantas al inocularlas con hongos micorrizógenos (Páez, y otros, 2006). Estudios similares realizados en tomate mostraron un aumento del 13,2% en la variable longitud aérea para aquellas plantas micorrizadas (Lopez). En este experimento se obtuvo que las plantas inoculadas resultaron ser un 20% más altas que las no inoculadas para el tiempo 1 y para el tiempo 2 se obtuvieron plantas no micorrizadas un 10.11% más altas que las micorrizadas. El comportamiento observado en el tiempo 2 podría relacionarse en cierta medida con el comportamiento de la variable porcentaje de infección micorrízica para este mismo tiempo, la cual presento una disminución en la colonización de las plantas de los tratamientos T1, T2 y T3 a las cuales se les agregaron hongos micorrizógenos y un aumento en la colonización en los tratamientos T4, T5 y T6, a las cuales no se les agregó ningún sustrato, pero que presentaron desde un principio presencia de micorrizas nativas, también puede relacionarse con el hecho de que para el tiempo 2 la mayor parte de las plantas micorrizadas se encontraban en etapa de llenado de frutos y cosecha, mientras que la mayoría de las plantas no micorrizadas aparentemente se encontraban en etapas fenológicas anteriores es decir entre alto crecimiento y floración.

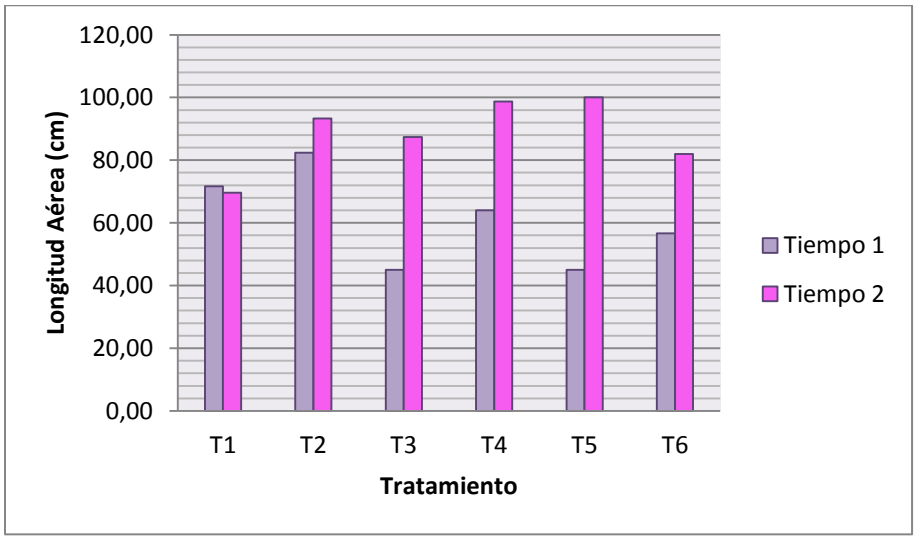


Figura 19. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable longitud aérea de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

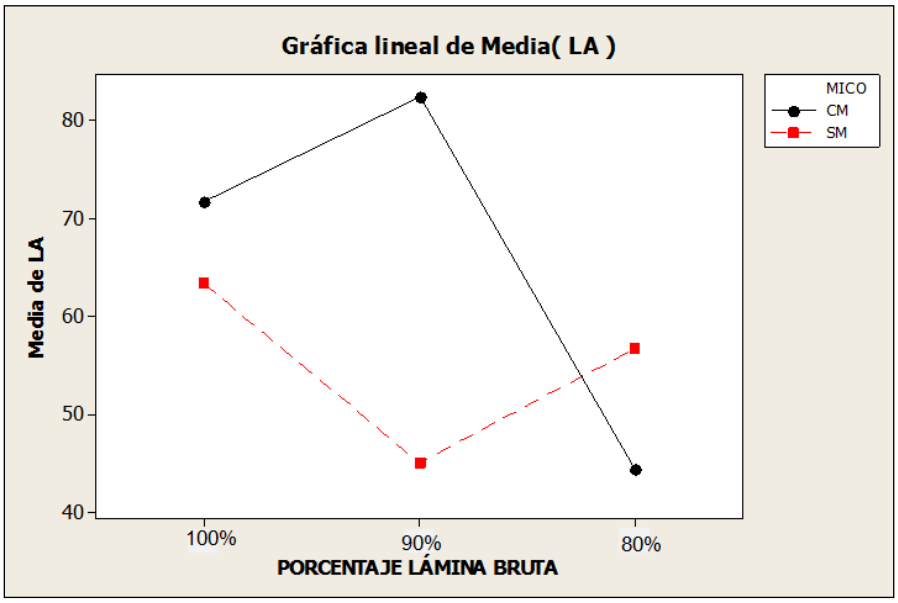


Figura 20. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Longitud Aérea (LA) en el tiempo 1 (80 ddt).

8.4.2.2 Longitud radical (LR)

El sistema radical del tomate es superficial y está constituido por la raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias (Jaramillo, y otros, 2007). La función principal de las raíces es absorber agua y nutrientes provenientes del suelo, por lo tanto es importante que las plantas tengan un buen desarrollo radicular, para así explorar un mayor volumen de suelo y aumentar las posibilidades de encontrar y extraer las sustancias necesarias para su buen desarrollo.

En la figura 21 se muestra el comportamiento de la variable longitud radical a los 80 ddt y a los125 ddt. Para el tiempo 1 se obtuvo un CV de 30.8% valor que indica que los datos presentan una dispersión aceptable. Al comparar las medias de los diferentes factores, no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$), lo cual indica que la presencia de micorrizas o la disminución en la lámina de riego no afectó en gran medida el desarrollo de las raíces en los primeros 80 días. En el tiempo 2 se presentaron diferencias significativas ($P<0.05$), entre las plantas a las cuales se les agregó micorrizas (CM) y aquellas a las que no se les agregó (SM) con medias de 29.7 y 21.7 cm respectivamente, esto se puede apreciar claramente en figura 22. Para estos datos se obtuvo un CV de 24.6% lo cual indica que la dispersión de los datos es aceptable. Para el segundo tiempo la presencia de micorrizas ayudó a aumentar significativamente el crecimiento de las raíces mientras que la variación en la lámina de riego no marco diferencias importantes en la longitud radical. En cuanto al análisis de la interacción se encontró que esta no resulto ser significativa para ninguno de los dos tiempos ($P>0.05$).

Sin embargo, se observa en general para los dos tiempos que las plantas micorrizadas desarrollaron raíces un poco más largas, comparadas con aquellas plantas a las que no se les agregó inoculante, esto se debe posiblemente a que el micelio fúngico (tejido micorrizal), se constituye en una extensión de las raíces que ayuda a las plantas a explorar mucho más volumen de suelo que la raíz sola, lo cual promueve la proliferación de raíces y favorece su crecimiento (Jaramillo, y otros, 2007).

En el tiempo 1, T2 fue el tratamiento que obtuvo la mayor longitud radical (plantas a las que se les aplico el 90% de la lámina de riego y se les adiciono micorrizas) con una media de 26 cm y para el tiempo 2 la mayor longitud radical se obtuvo para T3 (plantas a las que se les aplicó el 80% de la lámina de riego y se les adicionó micorrizas), con una media de 32.3 cm, esto puede deberse a que a menor contenido de humedad en el suelo algunas raíces tienden a profundizar como forma de adaptación a estas condiciones. Sin embargo estos valores son bastante bajos teniendo en cuenta que la longitud promedio general para las raíces de tomate es de 60 cm, lo cual puede atribuirse a que el suelo donde se estableció el cultivo tenía problemas de sodicidad, por lo tanto mala estructura y tendencia a la compactación, además las materas usadas tenían una profundidad máxima de 40 cm y un diámetro de 22 cm, lo que posiblemente condicionó el desarrollo de las raíces.

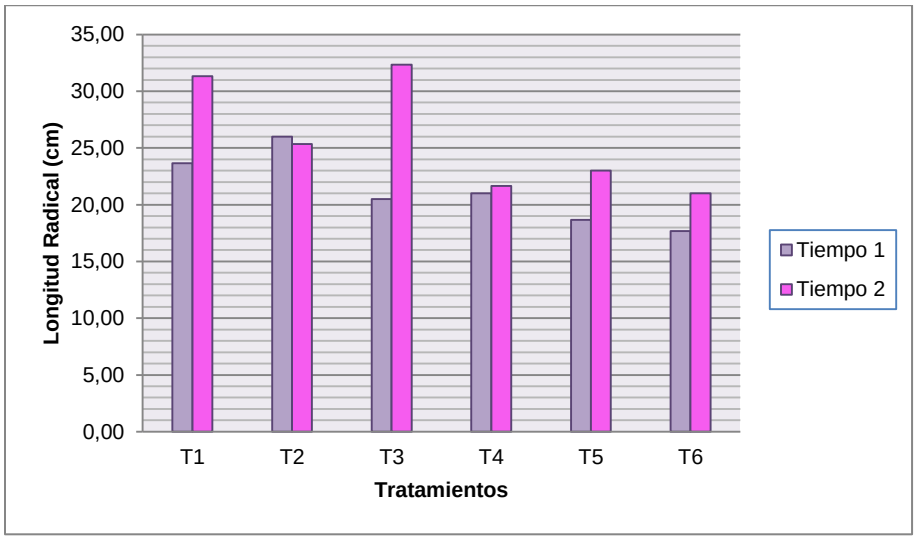


Figura 21. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable longitud radical de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

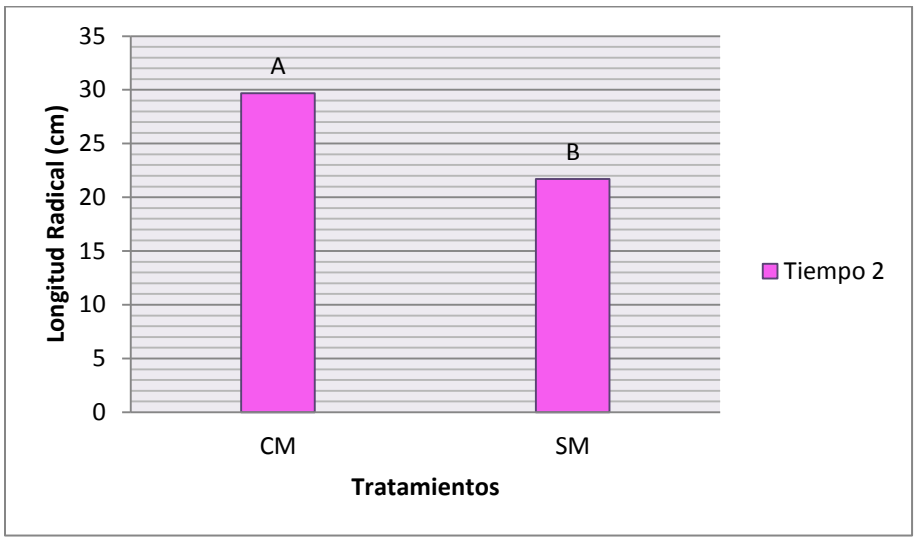


Figura 22. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes.

Por otra parte para el tiempo 1, la matriz de correlación arroja para LR un coeficiente de Pearson de 0.69 y 0.84 para %INF y LA respectivamente indicando que existe una correlación positiva, es decir a mayor porcentaje de infección micorrízica mayor longitud radical lo que estimula el crecimiento de la planta. En el tiempo 2 se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.56 y -0.56 para %INF y LA respectivamente, resultados que denotan relación lineal positiva y fuerte, entre LR y %INF y una relación lineal negativa y fuerte entre LR y LA, es decir las variables se relacionan en sentido inverso.

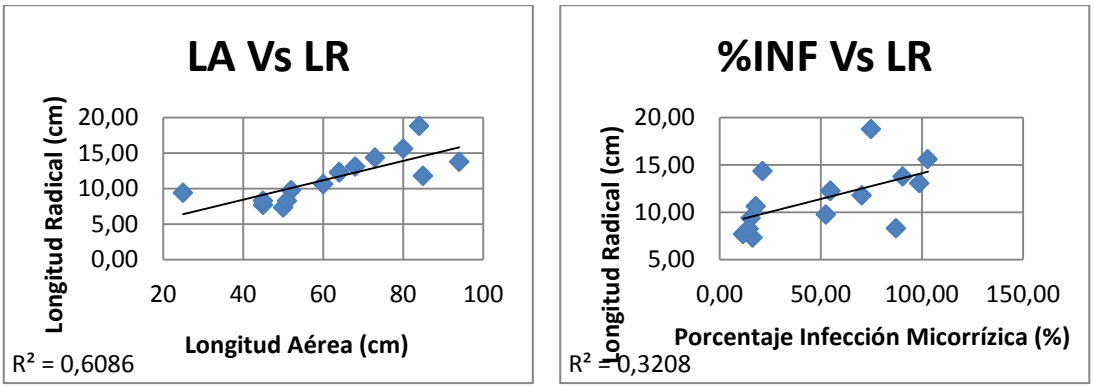


Figura 23. Correlación de la variable Longitud Radical (LR) con las Variables Longitud Aérea (LA) y Porcentaje de Infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 1.

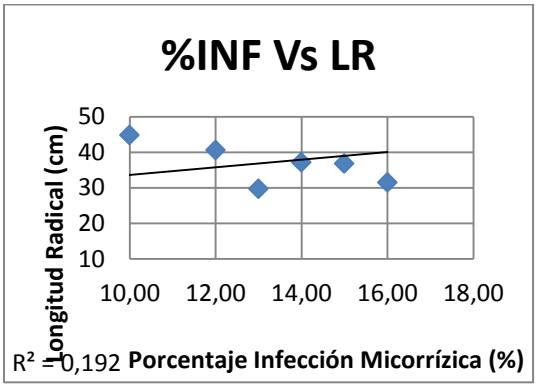


Figura 24. Correlación de la variable Longitud Radical (LR) con la Variable porcentaje de Infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 2.

8.4.2.3 Diámetro de tallo (DT)

En la figura 25 se muestra el comportamiento de la variable diámetro de tallo (DT), al aplicar las diferentes láminas de riego con y sin adición de micorrizas para el tiempo 1 y tiempo 2, sin encontrar diferencias significativas entre los factores por separado o interactuando.

Se obtuvieron para el tiempo 1 medias que oscilaron entre 5.3 y 4.6 mm para T1 y T3 y entre 4.9 y 4.2 mm para los tratamientos T5 y T6, con un CV de 18.75% lo cual indica que los datos son homogéneos por lo tanto se pueden interpretar como confiables, los datos obtenidos en el tiempo 2 resultan similares al tiempo 1, teniendo medias aproximadas que varían de 6.0 a 4.4 mm de con un CV de 16,6%.

Al comparar los tratamientos a los 80 ddt (tiempo 1) se puede observar que las plantas con micorrizas presentaron mayor diámetro de tallo que aquellas sin inocular, con muy poca diferencia entre los porcentajes de lámina de 100% y 90%. Para la menor lámina el efecto de la presencia de micorriza es mínimo. Sin embargo, a los 125 ddt se advierte el efecto contrario, es decir, para las láminas de 100% y 90% de la LB no hubo diferencias entre plantas micorrizadas y no micorrizadas y para la menor lámina fue fundamental la micorrización. Lo anterior puede explicarse, al relacionar el comportamiento de esta variable con el porcentaje de infección, puesto que al final del experimento no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, debido tal vez a la variación de esta variable. Aunque no se presentaron diferencias significativas para el tiempo 1, se puede observar que para T1 y T2 se obtuvieron diámetros de tallo mayores (5.3 mm), comparados con T4 y T5, donde se presentaron valores bajos (4.5 y 4.2 mm). En las plantas del tiempo 2 tampoco se presentaron diferencias significativas, pero se logra visualizar que el tallo de las plantas T5 (90%, SM), aumento superando las plantas T2 (90%, CM).

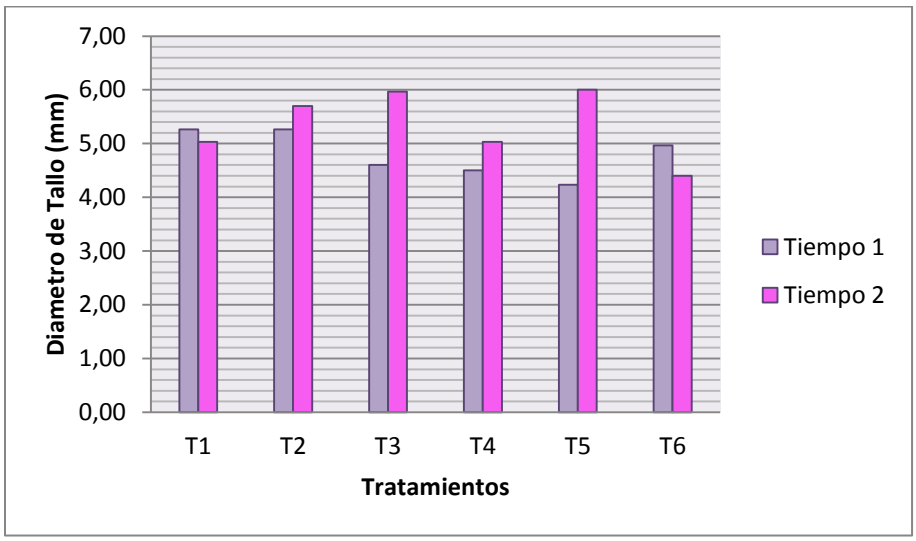
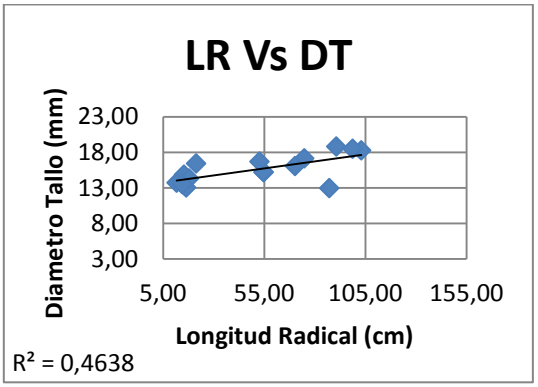
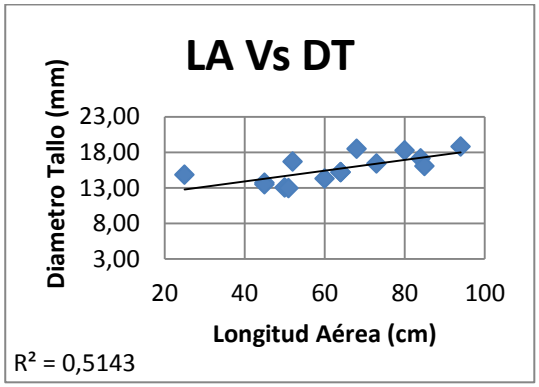


Figura 25. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable diámetro de tallo de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

La matriz de correlación para DT en el tiempo 1, muestra que dicha variable tiene una relación positiva alta con %INF, LA y LR con un coeficiente de Pearson de 0.65, 0.80 y 0.67 respectivamente. Para el tiempo 2 se tiene que DT respecto a %INF, LA y LR se presentó una relación positiva baja con valores de 0.57, 0.48 y 0.39 respectivamente, con lo que se deduce que el DT se correlaciona en sentido directo con las variables %INF, LA y LR.





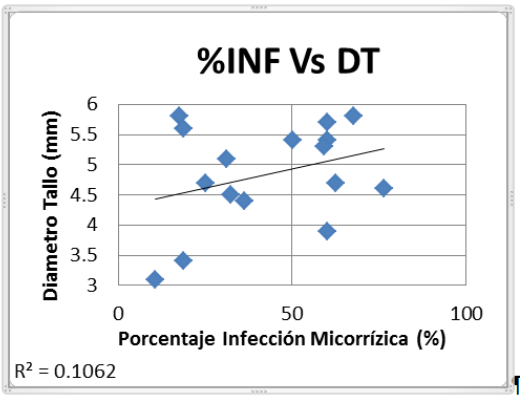


Figura 26. Correlación de la variable Diámetro de Tallo (DT) con las Variables Longitud Radical (LR), Longitud Aérea (LA), Porcentaje de infección Micorrízica (%INF) para el tiempo 1 (80 ddt).

8.4.2.4 Área Foliar (AF)

En la figura 27 se muestra el comportamiento de la variable Área foliar (AF), al aplicar los diferentes tratamientos para los dos tiempos evaluados. En el tiempo 1 se obtuvieron medias que oscilaron entre 88.4 y 16.8 cm^2 para los tratamientos con adición de micorrizas (T1, T2 y T3) y entre 54.8 y 28.6 cm2 para los que no se les adicionó (T4, T5 y T6) con un CV de 45.4% indicando alta dispersión. En el tiempo 2 se obtuvieron medias que variaron entre 146.3 a 84.1 cm^2 para las plantas con adición de hongos micorrizógenos y entre 103.4 a 53.3 cm^2 para las plantas sin adición, para este tiempo se obtuvo un alto CV de 37.2%. Se encontró una alta variabilidad en los dos tiempos, esta se puede atribuir en primer lugar al hecho de que durante el desarrollo del experimento fue necesario realizar varios trasplantes debido a que se presentó muerte de algunas plantas, por lo que al momento de realizar la toma de muestras estas se encontraban en diferentes etapas de desarrollo. Por otra parte, varias plantas se vieron afectadas por diversos factores como plagas y enfermedades que limitaron el crecimiento de sus hojas, por lo que no se tuvo uniformidad en la muestra. También se puede apreciar que para T1 y T2 se encontraron medias de 88.4 y 86.6 cm^2 respectivamente, valores mucho más altos que el presentado en T3 de 16.8 cm^2, teniendo en cuenta esto se puede decir que las plantas inoculadas, en esta etapa del cultivo toleran una disminución en la lámina de riego de hasta un 10% sin que se afecte el área foliar.

Según el análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas en el tiempo 1 para el factor lámina (P= 0.032), entre las láminas equivalentes al 100% y al 80% de la lámina bruta (LB) con medias de 71.6 y 27.2 cm^2 respectivamente lo cual se puede observar en la figura 28 y entre las plantas con y sin adición de sustrato micorrizado (P= 0.013) con medias de 67 y 33.3 cm^2 respectivamente (figura 29). En la figura 30 se observa que para el tiempo 2, se obtuvieron diferencias significativas en el factor lámina (P= 0.033), dichas diferencias se encontraron entre las láminas equivalentes al 90% y 80% de la LB calculada con medias de 162.2 y 84.4 cm^2 respectivamente. Se estableció además que para el tiempo 2 la presencia de micorrizas no afecta de manera significativa la variable

área foliar, aunque se observó que las plantas T4 y T5 (SM), superaron el área foliar de las plantas T1 y T2 (CM), lo anterior se puede atribuir a la disminución del porcentaje de infección micorrizógena en las plantas que fueron inoculadas y el aumento de esta misma variable en las plantas no inoculadas.

También se observa que los resultados del tiempo 2 aumentan considerablemente comparados con el tiempo 1, esto debido a que en el tiempo 2 el cultivo estaba en su etapa final por lo cual sus hojas ya estaban completamente desarrolladas, además de que ya se habían controlado las plagas. Se puede apreciar que las plantas que mayor área foliar obtuvieron fueron T2 y T5 con lo anterior se puede decir que la lámina de riego correspondiente al 90% de la LB benefició el desarrollo foliar.

Basados en los resultados arrojados por el análisis estadístico se encontró además una interacción significativa para el tiempo 1, esto se puede observar en la figura 31 donde se aprecia que los mejores resultados se presentaron para las plantas con micorrizas (CM) y el 100% de la lámina.

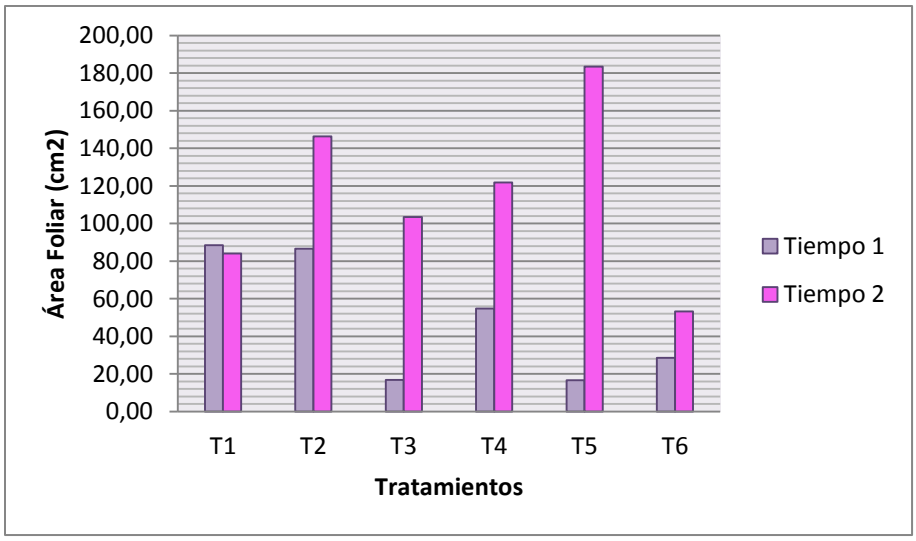


Figura 27. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable área foliar de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

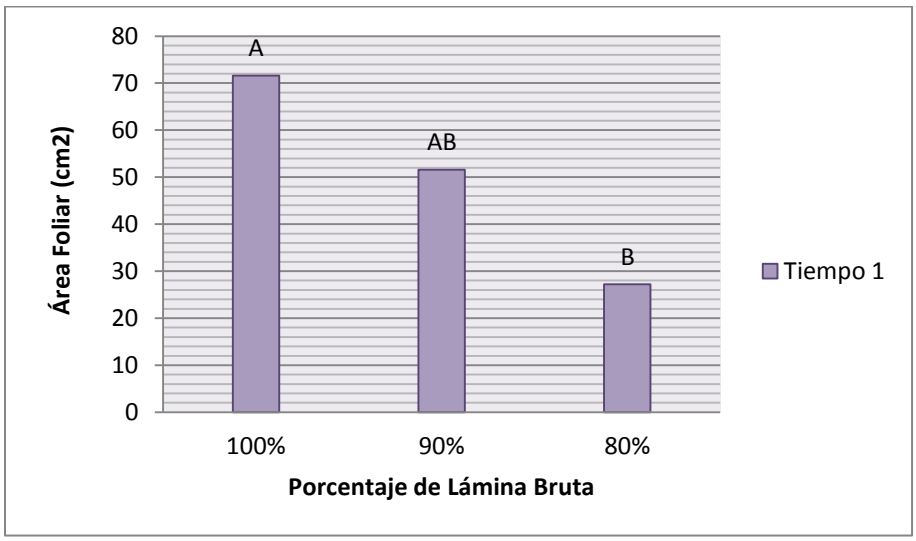


Figura 28. Resultados prueba de Tukey para el factor Porcentaje de lámina bruta en el tiempo 1 (80 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes.

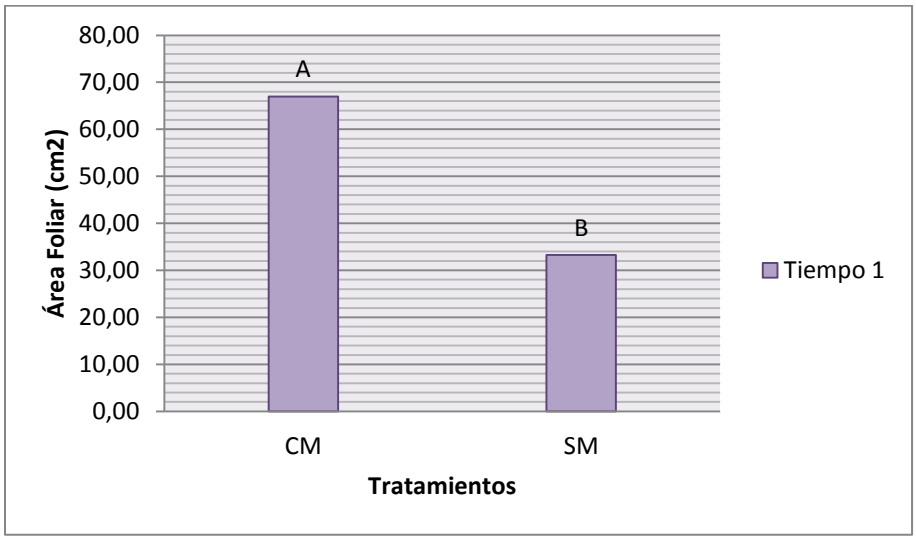


Figura 29. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 1 (80 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes.

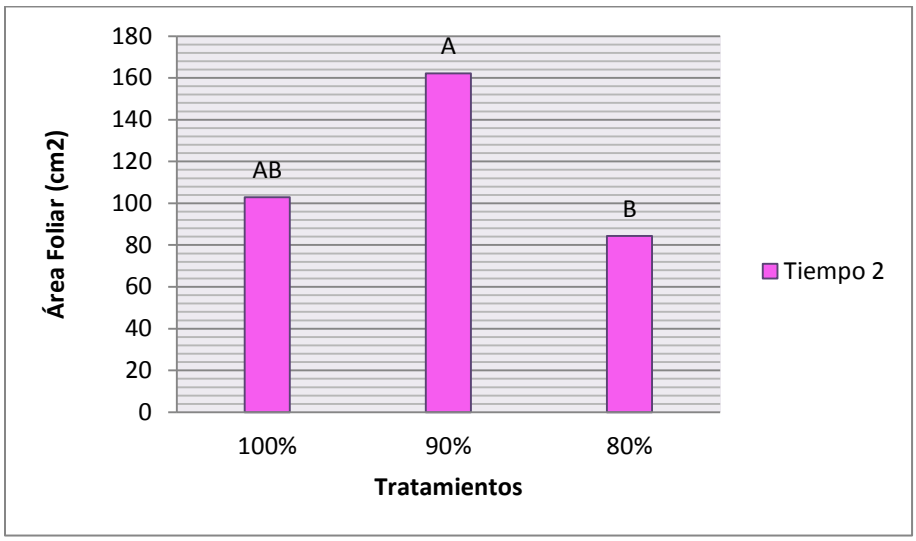


Figura 30. Resultados prueba de Tukey para el factor Porcentaje de lámina bruta en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes.

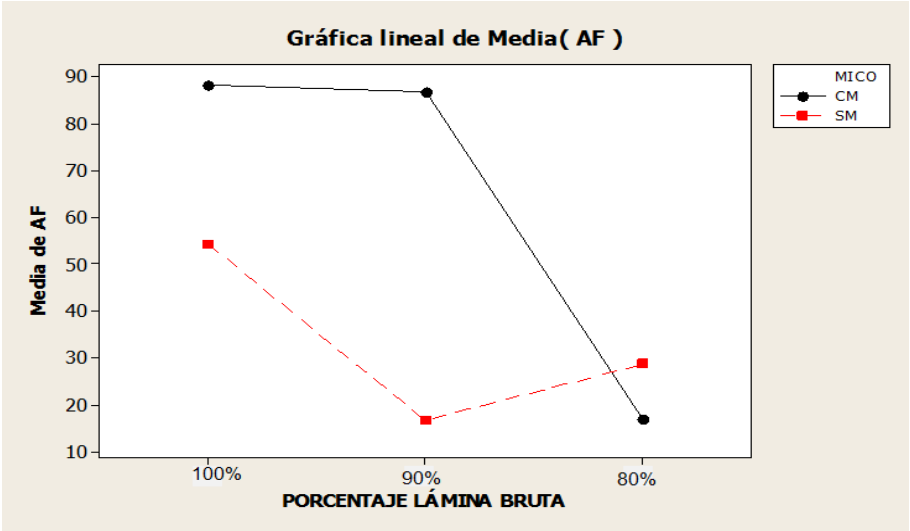
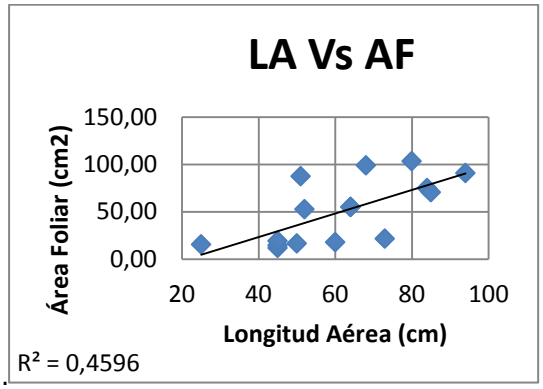


Figura 31. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Área Foliar (AF) en el tiempo 1 (80 ddt).

Según la matriz de correlación, para la variable AF en el tiempo 1, se tiene un coeficiente de Pearson de 0.96 para LA, de 0.88 para LR y de 0.78 para DT, con lo anterior se determina que AF se relaciona de manera lineal positiva con estas variables. Para el tiempo 2 se tiene que AF respecto a LA y DT presenta al igual que en el tiempo 1, una relación lineal positiva con valores de 0.76 y 0.78 respectivamente indicando una relación

directamente proporcional es decir a mayor área foliar mayor longitud aérea y diámetro de tallo.



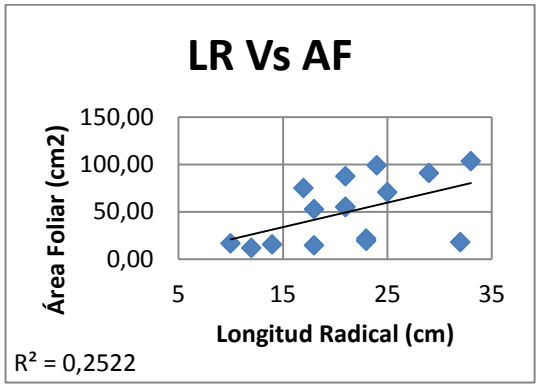


Figura 32. Correlación de la variable Área Foliar (AF) con las variables Longitud Radical (LR) y Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1.

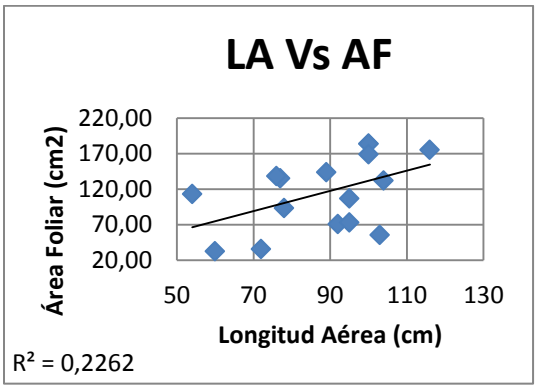


Figura 33. Correlación de la variable Área Foliar (AF) con la variable Longitud Aérea (LA) para el tiempo 2.

8.4.3 Variables de Producción

8.4.3.1 Número de frutos

En la figura 34 se muestra el comportamiento de la variable número de frutos, la cual se refiere al número total de frutos obtenidos por planta hasta los 125 ddt, al aplicar las diferentes láminas de riego con y sin adición de micorrizas.

Para esta variable de encontró un CV de 109.5% resultado que indica una gran dispersión en los datos. Se presentaron diferencias significativas (P=0.021) entre las unidades experimentales inoculadas y no inoculadas, con medias de 1.3 y 0.2 frutos respectivamente (figura 38), con respecto al factor lámina y a la interacción de ambos factores no se encontraron diferencias significativas. Con base en esto y observando la figura 34 donde se evidencia ausencia de frutos para T5 y T6, se puede decir que agregar hongos micorrizógenos a las plantas de tomate establecidas en suelo sódico mejoró notoriamente su producción en relación a las no inoculadas, aunque esta no llega a ser

comparada con la obtenida en suelos sin problemas de sodicidad. La mayor productividad de plantas micorrizadas ha sido atribuida al mejoramiento en la absorción de nutrientes tales como P, Zn, Cu, K, Ca, Mg y S, y al mejoramiento de la absorción de agua, dado que las hifas del hongo se extienden más allá de la zona donde los pelos radicales pueden alcanzar nutrientes y agua (Medina Garcia, 2010).

El rendimiento que se espera por planta de tomate en suelos sin problemas de sodicidad en campo está entre 1.5 a 2 kg y bajo invernadero y dependiendo del manejo del cultivo se pueden obtener rendimientos entre 5 a 10 Kg por planta (CORPOICA, 2010). Comparando esto con los resultados obtenidos, se puede ver claramente que la sodicidad y las condiciones de estrés hídrico disminuyen de manera significativa el rendimiento de plantas ya sea que estén inoculadas o no, por esto se recomienda además de adicionar micorrizas implementar una o varias técnicas que ayuden a mejorar las condiciones del suelo como practicas mecánicas, lavados, aplicación de enmiendas, incorporación de abonos verdes y materia orgánica entre otras.
Por otra parte el factor lámina no afectó de forma determinante el número de frutos por planta, pero se observa (figura 25) que en las plantas micorrizadas a medida que se disminuyó la lámina de riego, se disminuyó el número de frutos obtenido; cabe resaltar que las plantas con mayor número de frutos se obtuvieron para el tratamiento T1. Con base en lo anterior se recomienda no disminuir la lámina de riego para no afectar negativamente la variable Nº de frutos.

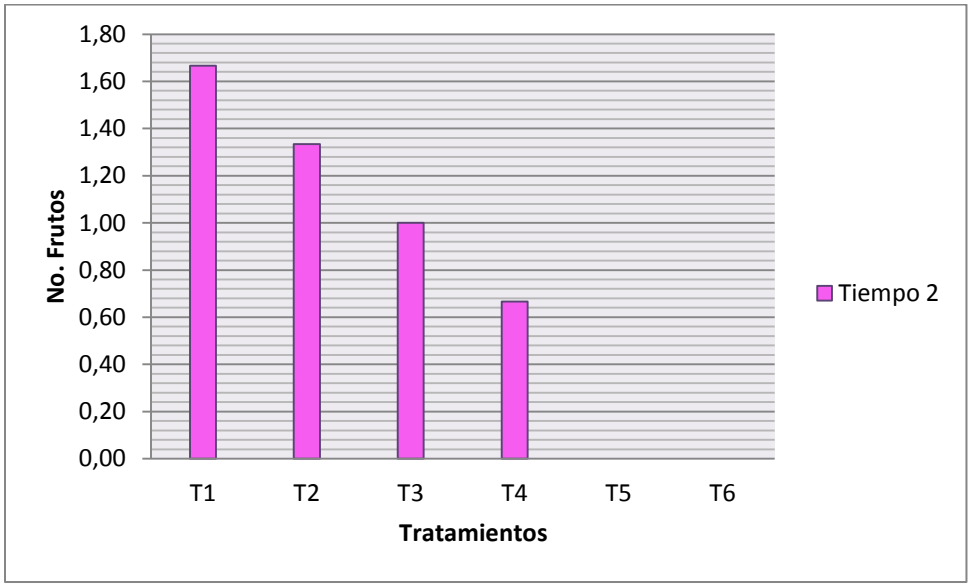


Figura 34. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable número de frutos de plantas de tomate para el tiempo 2 (125 ddt).

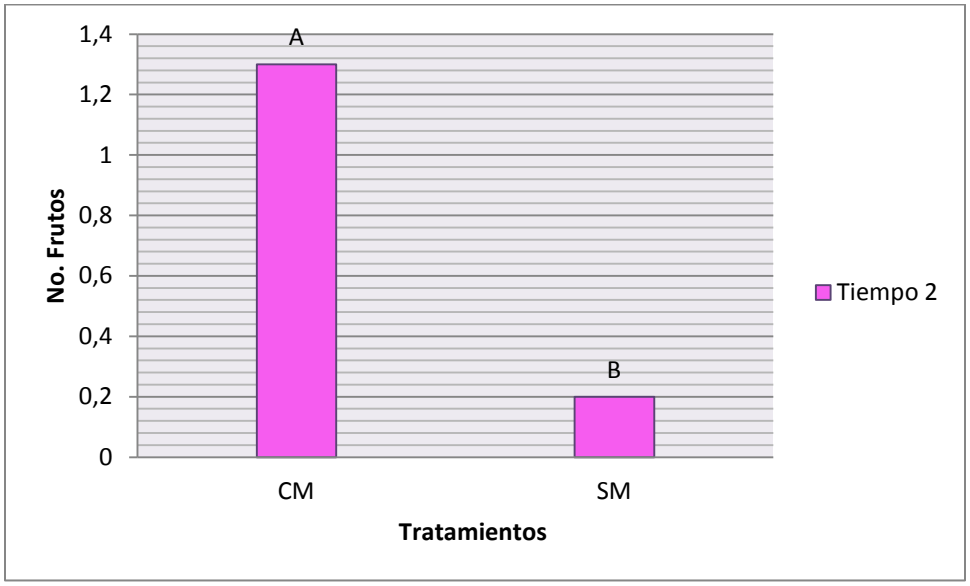


Figura 35. Resultados prueba de Tukey para el factor presencia de micorrizas en el tiempo 2 (125 ddt), donde las barras que no comparten letra son significativamente diferentes.

Entre tanto la matriz de correlación para Nº de Frutos arrojo coeficientes de -0.49 para LA, 0.70 para LR, 0.15 para DT y -0.12 para AF. Los coeficientes encontrados para las variables LA y AF indican una relación lineal negativa, es decir a valores altos de LA y AF corresponden valores bajos de Nº de Frutos, lo cual muestra que a mayor desarrollo vegetativo se presenta menor producción. Los coeficientes encontrados para LR y DT muestran una relación directamente proporcional entre estas variables y Nº de frutos.

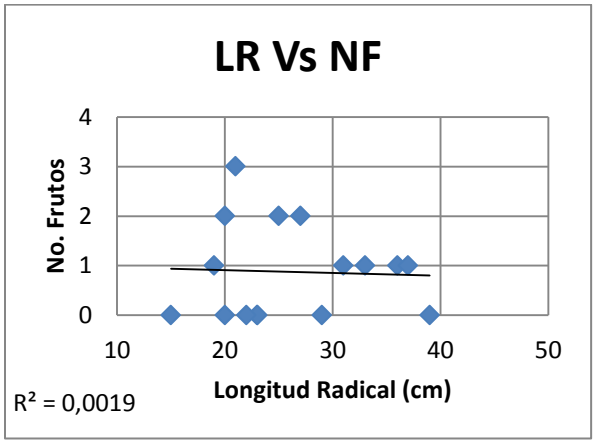


Figura 36. Correlación de la variable Número de Frutos (NF) con la variable Longitud Radical (LR) para el tiempo 2.

8.4.4 Variables de biomasa

8.4.4.1 Materia seca de Frutos (MSF)

La figura 38 muestra el comportamiento de la variable materia seca de frutos, esta no presentó diferencias significativas para los factores por separado ni para el análisis de la interacción. El CV calculado fue de 111% resultado que indica una gran dispersión en los datos debido posiblemente a que los frutos que se cosecharon al finalizar el tiempo 2, presentaron diferentes grados de madurez fisiológica (figura 37), lo cual hace que su variación en cuanto a tamaño y contenido de agua sea muy alta.

Figura 37. Estados de madurez fisiológica de los frutos cosechados a los 125 ddt.

Los valores más altos de MSF se dan para las plantas T4 y T2, con una media de 13% y los más bajos se tienen para T1, con una media de 8.7%.

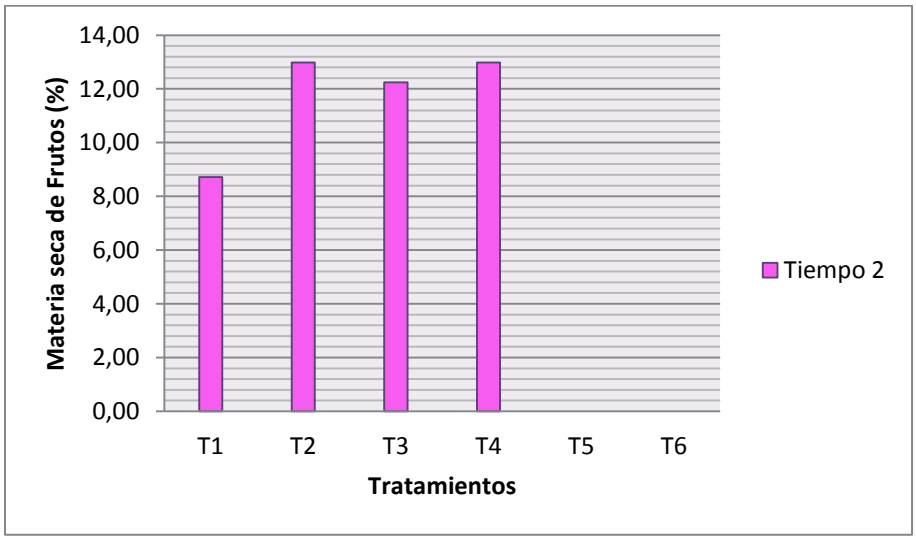


Figura 38. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de frutos de plantas de tomate para el tiempo 2 (125 ddt).

8.4.4.2 Materia seca de Raíz (MSR)

En la figura 39 se observa el comportamiento de la variable materia seca de raíz a los 80 y a los 125 ddt, en donde según el análisis estadístico de cada factor y de su interacción, no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los dos tiempos. Obteniendo un CV de 37% para el tiempo 1 y de 35.6% para el tiempo 2.

Los valores de MSR variaron entre 70.60% y 33.80% para el tiempo 1, el mayor porcentaje de MSR se obtuvo para las plantas T2 y el menor para las plantas T5. Para el tiempo 2 el porcentaje de materia seca de raíz fue mayor para la lámina T3 y T6, presentando medias de 72.8% y 70.4% respectivamente, y fue menor para la lámina T5 donde la media fue de 41.7%. No obstante, se puede apreciar una tendencia en las plantas micorrizadas en aumentar levemente la MSR al disminuir la lámina de riego lo que se correlaciona con la disminución del área foliar.

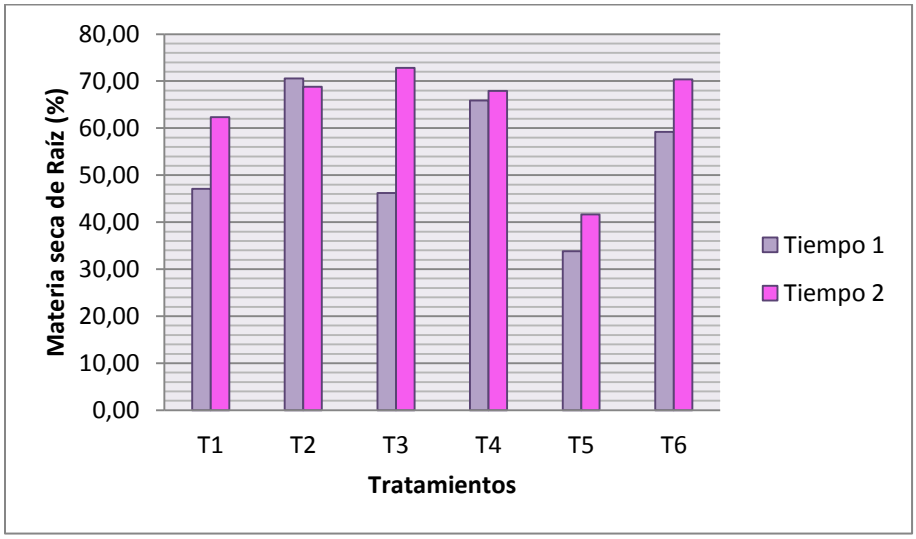


Figura 39. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de raíz de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

Por otra parte para el tiempo 1, la matriz de correlación para MSR arrojo coeficientes de 0.72 para LA indicando una relación lineal positiva fuerte, 0.46 para LR, 0.50 para DT y 0.53 para AF, todos estos indican una relación lineal positiva, es decir a valores altos de cualquiera de estas variables se tendrán valores altos de MSR. Para el tiempo 2, en la variable MSR se obtuvieron coeficientes de correlación 0.22 para LR, 0.38 para Nº de frutos y 0.58 para MSF. Los coeficientes encontrados para LR, Nº de Frutos y MSF muestran una relación directamente proporcional entre estas variables y MSR.

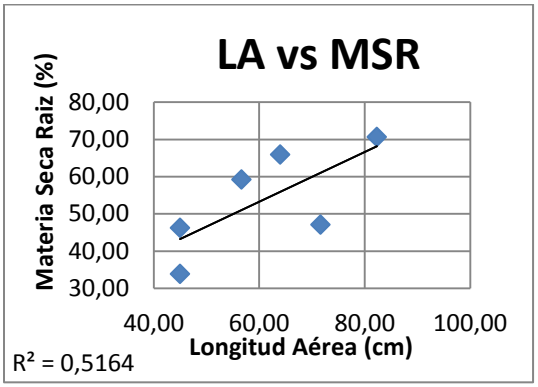


Figura 40. Correlación de la variable Materia Seca de Raíz (MSR) con la variable Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1.

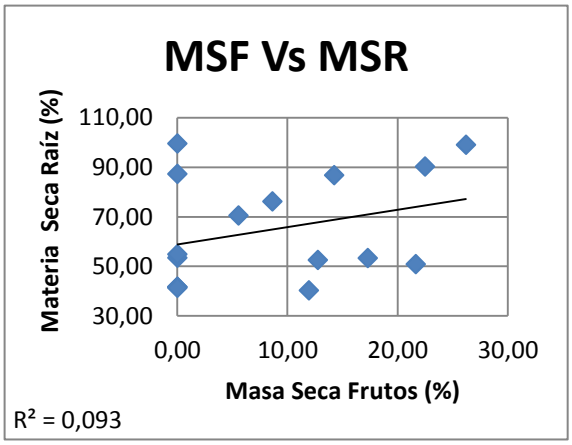


Figura 41. Correlación de la variable Materia Seca de Raíz (MSR) con la variable Materia Seca de Fruto (MSF) para el tiempo 2.

8.4.4.3 Materia seca de tallo (MST)

Con respecto a la materia seca de tallo no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el efecto de los diferentes factores o de la interacción de estos para ninguno de los tiempos evaluados. Sin embargo, se observa en la figura 42 que para el tiempo 1 se obtuvieron medias más altas para las plantas micorrizadas que oscilan entre 14.2% y 9.1%, que para las no micorrizadas, las cuales obtuvieron medias que oscilan entre 12.2% y 9.1%. Analizando los resultados para el tiempo 2, se observa de manera general un aumento en la materia seca de tallo para todos los tratamientos comparados con el tiempo 1. Las plantas con mayor porcentaje de MST en este tiempo fueron las T6, con una media de 47.7%; sin embargo, T1 y T3 también obtuvieron resultados altos con medias de 35.8% y 37.3% respectivamente. Para los datos del tiempo 1 se tiene un CV de 26.04% y para los del tiempo 2 de 16.99%, lo cual indica que la muestra obtenida resultó ser homogénea. Estos resultados pueden relacionarse con el comportamiento de las variables longitud aérea (figura 17) y diámetro de tallo (figura 23), las cuales presentan una conducta similar a la observada en el porcentaje de MST.

Examinando el comportamiento de la variable se puede señalar que la materia seca de los tallos no se afectó directamente por el factor lámina de riego ya que no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo discriminando la presencia o no de micorrizas y analizando las láminas de riego se puede observar que para T1, T2, T4 y T5 se obtuvieron valores más altos de materia seca de tallo que para T3 y T6. Con lo anterior se puede decir que si se disminuye la LB en más de un 10% para plantas de tomate establecidas en suelo sódico, se afecta negativamente la producción de materia seca de tallo, debido a que el déficit hídrico tiene una fuerte influencia sobre el crecimiento y la producción de materia seca por las plantas.

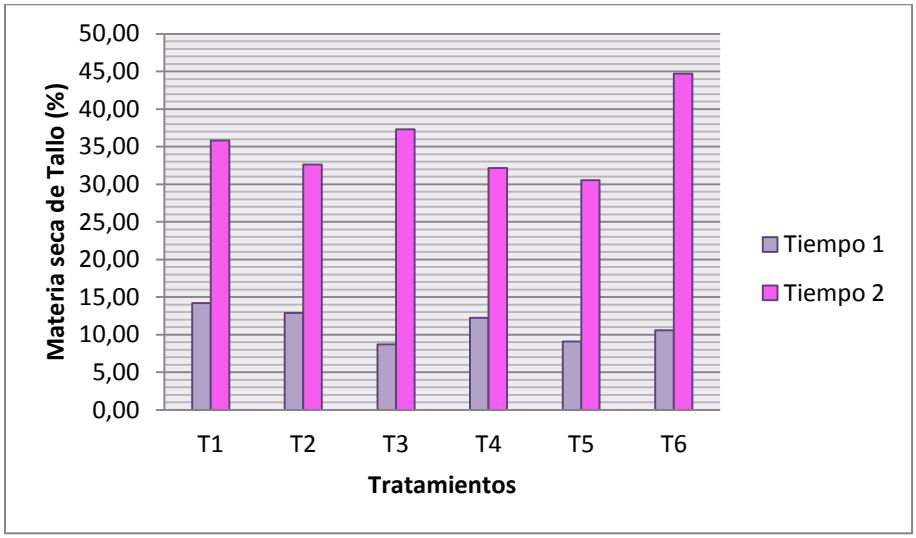


Figura 42. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de tallo de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

La matriz de correlación de la variable MST, muestra para el tiempo 1 de manera general una relación lineal positiva fuerte, con respecto a las variables LA (0.9), LR (0.72), DT (0.74), AF (0.96) y MSR (0.51), con lo que se indica un comportamiento directamente proporcional de estas variables con respecto a la variable MST. Para el tiempo 2, se encontró que la MST presentó una relación lineal negativa fuerte para las variables LA (-0.59), DT (-0.67), AF (-0.89), con esto se indica que para el tiempo 2, la relación de MST resultó ser inversamente proporcional en relación con las demás variables, exceptuando MSR, la cual presento con un coeficiente de 0.54, con lo que se puede decir que entre MST y MSR existe una relación lineal positiva.

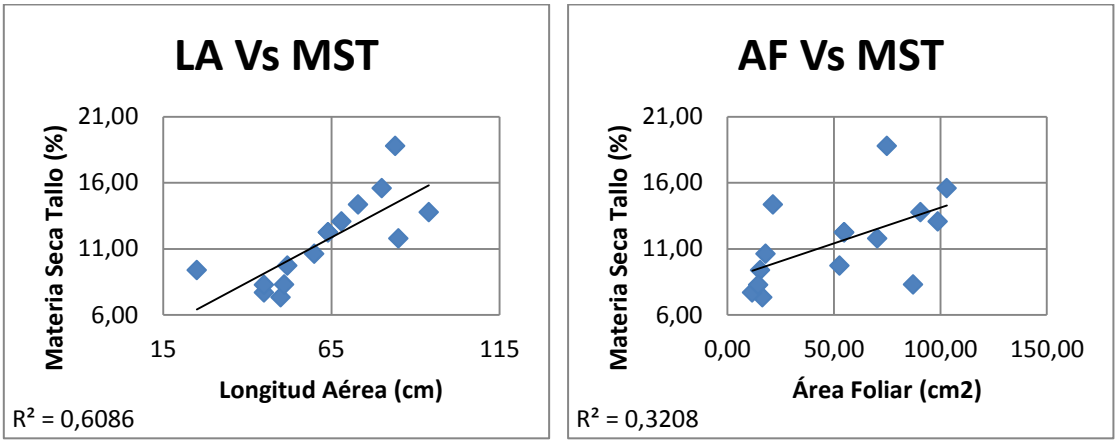


Figura 43. Correlación de la variable Materia Seca de Tallo (MST) con las Variables Longitud Aérea (LA) y Área Foliar (AF) para el tiempo 1.

8.4.4.4 Materia seca de hojas (MSH)

Los resultados obtenidos al analizar los datos recolectados a los 80 y 125 ddt de la variable materia seca de hojas (MSH) arrojan que no hubo diferencias significativas (P> 0.05) en los diferentes tratamientos para los dos factores a analizar, por lo que la cantidad de agua a aplicar a cada planta al igual que la adición o no de micorrizas no afecto en gran medida el porcentaje de MSH. Sin embargo, para el tiempo 1 se encontró que en la gráfica de interacción de los factores las líneas no fueron paralelas, por lo que la interacción fue significativa con un P=0.012, lo cual se puede observar en la figura 45.

Se observa que para el tiempo 1 se obtuvieron resultados más altos para las plantas de T2 donde se obtuvo una media de 17.8% y los más bajos para T3 donde la media fue de 13% (figura 44). Para el tiempo 2 los resultados más altos de MSH se obtuvieron para las plantas T6, donde se obtuvo una media de 91.6% y los más bajos se encontraron en las plantas T5 con una media de 59.8%. Por otra parte se observó una distribución normal en los datos con un CV de 13,7% para el tiempo 1 y de 20% para el tiempo 2, lo que indica que la muestra fue homogénea y por lo tanto se interpreta como confiable.

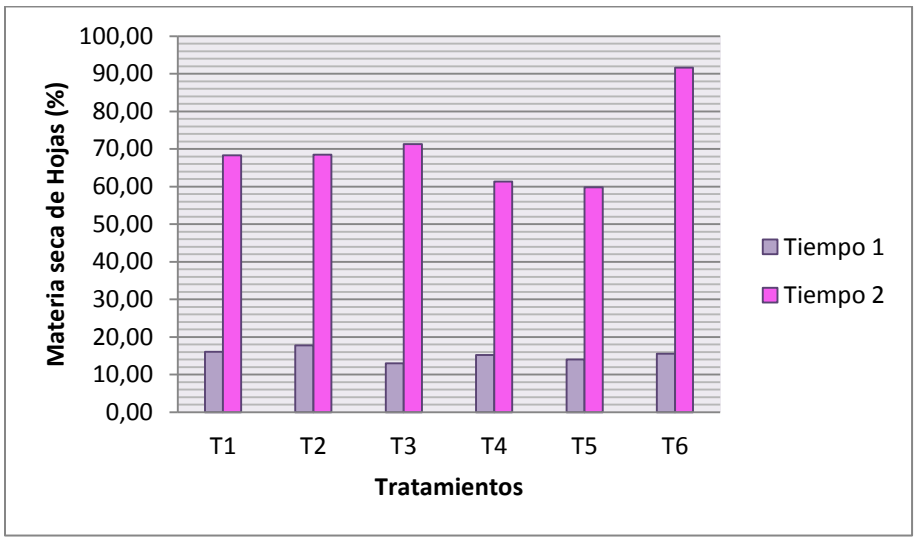


Figura 44. Efecto de la variación de lámina de riego y aplicación de micorrizas en la variable materia seca de hojas de plantas de tomate para el tiempo 1 (80 ddt) y tiempo 2 (125 ddt).

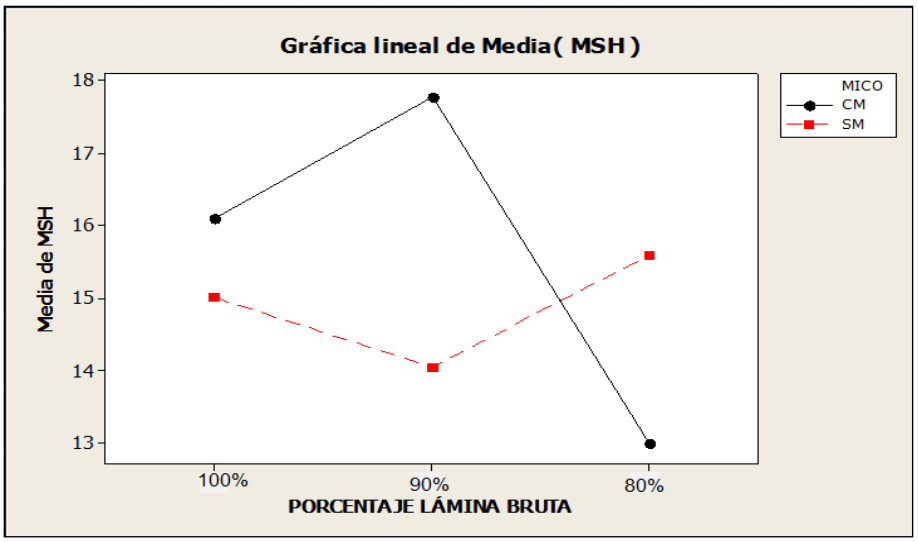


Figura 45. Interacción significativa de los tratamientos empleados para la variable Materia seca de hojas (MSH) en el tiempo 1 (80 ddt).

Entre tanto para el tiempo 1, la matriz de correlación para MSH arrojó coeficientes de 0.94 para LA, 0.68 para LR, 0.79 para DT, 0.85 para AF, 0.69 para MSR y 0.81 para MST, todos estos indican que hay una alta relación positiva, es decir, estas variables se correlacionan en sentido directo con la variables MSH. Similares resultados fueron hallados para el tiempo 2, en donde se resaltan los coeficientes de correlación de 0.51 para MSR y 0.97 para MST.

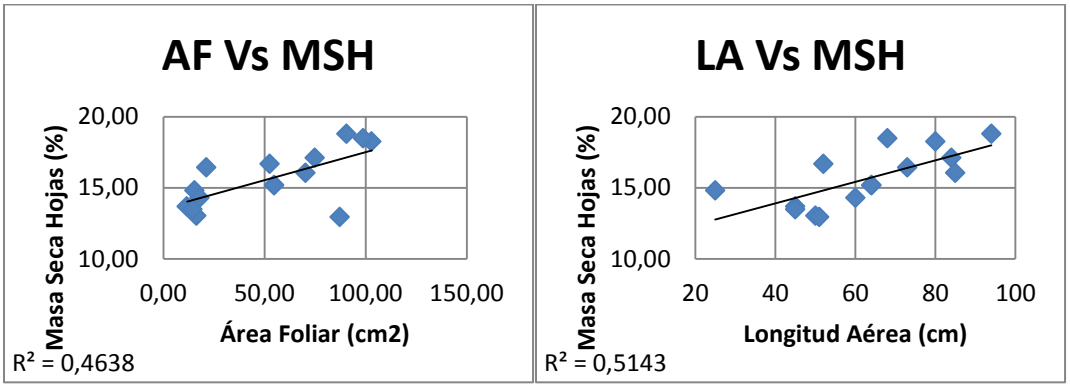


Figura 46. Correlación de la variable Materia Seca de Hojas (MSH) con las Variables Área Foliar (AF) y Longitud Aérea (LA) para el tiempo 1.

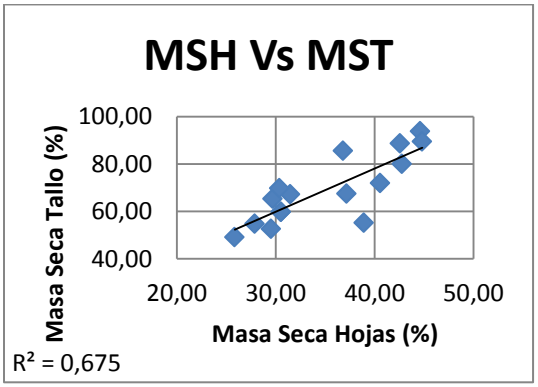


Figura 47. Correlación de la variable Materia Seca de Hojas (MSH) con la variable Materia Seca de Tallo (MST) para el tiempo 2.

9. CONCLUSIONES

El suelo empleado fue sódico y se caracterizó por presentar pH mayor a 8 y CE menor a 2 mmhos/cm, PSI mayor a 15, problemas de estructura, compactación y encostramiento y por lo tanto dificultan el drenaje y limitan el desarrollo de cualquier cultivo además de afectar la microbiota del suelo.

La aplicación de sustrato con hongos micorrizógenos en la etapa de semillero, incrementó el porcentaje de germinación semillas de tomate chonto variedad Santa Clara establecidas en un suelo sódico en un 129% y disminuyó los tiempos de emergencia en 3 días aproximadamente con respecto a las semillas que no se inocularon. Sin embargo, los valores obtenidos estuvieron por debajo de los esperados según la casa distribuidora para estas semillas debido a las condiciones del suelo empleado.

Los resultados obtenidos a lo largo del experimento permiten establecer que el adicionar hongos micorrizógenos favoreció la tolerancia de las plantas a condiciones adversas, permitiendo la finalización de su ciclo vegetativo de 125 días

Con relación a la Longitud Aérea de la planta, Diámetro de Tallo, Materia Seca de frutos, raíz, tallo y hojas, y Porcentaje de infección micorrizica no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo se observó un mejor desarrollo en la etapa inicial del cultivo para las plantas con adición de micorrizas, mientras que en la etapa final del cultivo no se visualizó una tendencia clara en cuanto a los factores lámina y adición de micorrizas.

Para la variable área foliar se encontraron diferencias significativas en los dos tiempos evaluados. En la etapa inicial del cultivo se pudo evidenciar que al inocular las plantas con hongos micorrizógenos, se presentó un aumento significativo en el área foliar. Por otra parte se determinó a lo largo del experimento que la lámina es un factor que condiciona el desarrollo del área foliar en las plantas, concluyendo así que no se debe reducir en más del 10% la lámina a aplicar para no afectar negativamente su desarrollo foliar.

En la etapa final del experimento en las variables Longitud Radical y Número de Frutos se presentaron diferencias significativas entre las plantas a las que se le agregó hongos micorrizógenos, con lo que se concluye que la simbiosis micorrizica favorece el crecimiento de la raíz y la producción de frutos. Sin embargo no se alcanzó la producción que se obtienen en suelos sin problemas de sodicidad.

Al analizar el efecto de la interacción de los factores en las diferentes variables evaluadas para las plantas de tomate, se encontró que en el tiempo 1 la interacción fue significativa sólo para las variables longitud aérea (LA), área foliar (AF) y materia seca de hojas (MSH) y en el tiempo 2 se encontró que la interacción no fue significativa para ninguna variable.

Según los resultados obtenidos se concluye que los hongos micorrizógenos pueden desarrollar simbiosis con plantas establecidas en un suelo sódico y sometido a estrés hídrico.

De acuerdo al porcentaje de infección micorrízica obtenido, se permite concluir que la eficiencia de inoculación fue alta ya que se presentó en todas las unidades experimentales y a lo largo de todo el experimento con leves variaciones, cabe resaltar que en las plantas a las que se les agrego sustrato con hongos micorrizógenos se observó y cuantifico un mayor porcentaje de colonización para ambos tiempos evaluados, con respecto a las plantas que no se les agrego hongos formadores de micorrizas pero presentaron simbiosis debido a la presencia de micorrizas nativas en el suelo.

Las condiciones de sodicidad del suelo limitan de manera marcada el desarrollo de las plantas de Tomate chonto variedad Santa Clara, discriminando para efectos de este experimento la variación en las láminas de riego aplicadas o la adición de hongos formadores de micorrizas. Por lo que se debe complementar el uso de micorrizas con técnicas que ayuden a recuperar el suelo y mejorar el drenaje.

Finalmente se puede concluir que la inoculación con micorrizas no ayuda a disminuir la lámina de riego en este tipo de suelos, ya que no influye significativamente en la mayoría de variables evaluadas durante el ciclo vegetativo de la planta pero si puede resultar una práctica complementaria interesante dentro de un plan de manejo de suelos básicos.

10. RECOMENDACIONES

En futuras investigaciones sería conveniente trabajar con un cultivo que presente un nivel de tolerancia a la sodicidad más alto que el tomate, para poder evaluar mejor el efecto de la variación en la lámina de riego al inocular con micorrizas.

Realizar el experimento con diferentes especies de micorrizas, para identificar cuál de ellas se adapta mejor a condiciones de sodicidad y puede traer más beneficios a los cultivos establecidos en este tipo de suelos.

Realizar estudios en campo para así tener otra perspectiva del comportamiento del cultivo sometido a los diferentes tratamientos y poder así confrontar esos resultados con los obtenidos bajo invernadero.

Llevar a cabo investigaciones donde se complementen técnicas de recuperación de suelos básicos como lavados y aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas, con la adición de micorrizas y otros microorganismos.

11. Bibliografía

ILAMA , 2008. *Proyecto Diseño y promoción de tecnologías y prácticas para la recuperación de áreas con suelos degradados por erosión y salinidad,* Santiago de Cali: Grupo de investigación ILAMA, Universidad del Valle.

Neyoy Siari, C., 2012. *Fisiologia vegetal.* [En línea]
Available at: http://fisiolvegetal.blogspot.com/2012/10/micorrizas.html
[Último acceso: Noviembre 2012].

Alcaraz, F., 2012. Salinidad y Vegetación. En: *Geobotánica.* Murcia (España): s.n.

Artigas Durán, 2003. *Formación del suelo.* Uruguay, s.n.

ASIAC, 2010. *www.siac.gov.co.* [En línea]
Available at:
http://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/Cursos%20nacionales%20Degradaci%C3%B3n/I%20Taller%20Nal%20Degradaci%C3%B3n/120710_Mem_prim_taller_nal_Degrad.pdf
[Último acceso: 21 Septiembre 2010].

Azcón, J. & Talon, M., 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal.* España: McGrawHill Interamericana.

Barea, J. M., 1998. *Diciembre.* s.l.:s.n.

Chavez O, A., 2009. *Evaluación del efecto de la aplicación de micorrizas en la produccion de tomate riñon (Solanum Lycopersicum) bajo invernadero,* Riobamba, Ecuador: s.n.

Cisneros, R., 1995. *Manual de suelos agricolas con un enfoque en riego y drenaje.* San Luis Potosi: s.n.

Corpeño, B., 2004. *Manual del Cultivo del Tomate.* San Salvador, El Salvador, Centro de Investigación Desarrollo y Exportación de Agronegocios.

CORPOICA, 2010. *www.Corpoica.org.co.* [En línea]
Available at:
http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Libreria/libropreg.aspid_libro=8&id_capitulo=1
[Último acceso: Noviembre 2012].

Cuartero, J. & Fernandez Muñoz, R., 1999. Tomoto and salinity. *Scientia Hoticulture.*

Dell'Amico, J. y otros, 2002. INFLUENCIA DE LA MICORRIZACION EN ELE CRECIMIENTOY LAS RELACIONES HIDRICAS DE PLANTAS DE TOMATE SOMETIDAS A UN CICLO DE SEQUIA Y RECUPERACIÓN. *Cultivos Tropicales,* Volumen 23.

Dorronsoro, C., s.f. *Estrucplan.* [En línea]
Available at: http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=985
[Último acceso: 08 Mayo 2012].

Escobar, H. & Cooman, A., 2001. *Producción de Tomate Bajo Invernadero.* Bogota (Colombia): Fundacion Universidad de Bogota, Jorge Tadeo Lozano.

FAO, 1994. *Erosion de suelos en America Latina.* Santiago de chile: s.n.

Fassbender, H. W. & Bornernisza, E., 1994. *QUIMICA DE SUELOS Con enfasis en suelos de America Latina.* San Jose: IICA.

FINAGRO, 2012. *Fondo para el financiamiento del sector agropecuario.* [En línea]
Available at:
http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-256&p_options#COLOMBIA
[Último acceso: Enero 2013].

Folliot, P. & Tames, J., 1983. *Recolección, Manipuleo, Almacenaje y Pre-tratamiento de las semillas de Prosopis en América Latina.* Tucson, Arizona: FAO.

García, I. & Dorronsoro, C., s.f. *Edafología.* [En línea]
Available at: http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/efectos.htm
[Último acceso: 9 Mayo 2012].

Goykovic, V. & Saavedra, G., 2007. *Algunos Efectos de la Salinidad en el Cultivo del Tomate y Practicas Agronomicas de su Manejo.* Idesia (Chile): s.n.

ICA, 1992. *Fertilización en diversos cultivos.* Quinta ed. s.l.:s.n.

IDEAM, 1994. *www.docstoc.com.* [En línea]
Available at: http://www.docstoc.com/docs/19690453/OFERTA-Y-DEMANDA-DEL-RECURSO-HIDRICO-EN-COLOMBIA
[Último acceso: 22 Septiembre 2010].

INVAM, s.f. *INVAM.* [En línea]
Available at: http://invam.caf.wvu.edu
[Último acceso: 17 Octubre 2010].

Jaramillo, D., 2002. *Introduccion a la ciencia del suelo.* Medellin: s.n.

Jaramillo, D., 2004. *El recurso suelo y la competitividad del sector agrario colombiano..* Medellin: s.n.

Jaramillo, J. y otros, 2007. *Manual tecnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producció de Tomate Bajo Condicioner Protegidas.* Medelllin (Colombia): CTP Print Ltda.

Llewellyn L, . M., 2007. *Stimulation of Ecosystem Biogeochemical Processes with Grazing,* s.l.: North Dakota State University.

Lopez, J., s.f. *Ensayos de Micorrización en Cultivos Horticolas.* [En línea]
Available at: http://www.ruena.csic.es/pdf/3 presentacion javier lopez.pdf

Medina Garcia, L., 2010. *Respuesta del tomate (Solanumlycopersicum L.) bajo estrés salino a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares adaptados a esta condición,* La Habana: s.n.

Merryweather, J. & Fitter, H., 1996. *Phosphorus nutrition of and obligately mycorrhizal plant treated with the fiungicide benomyl in the field.* s.l.:s.n.

Montgomery , D. & Runger, G., s.f. *Probabilidad y estadistica aplicadas a la ingenieria.* Mexico: Limusa.

MYCOSYM, 2008. *Plant Vitalizing Systems.* [En línea]
Available at: http://www.mycosym.com/SP/MicorrizaSP.html
[Último acceso: Diciembre 2012].

Otero, L. y otros, 2004. *Caracterizacion y evaluacion de la salinidad.* Cuba: s.n.

Páez, O. & Guerrero, G., 2006. *Las Micorrizas: Alternativa Ecologica para la Agricultura Sostenible.* [En línea]
Available at: http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index es.jsp.
[Último acceso: 2 Febrero 2009].

PEREZ, . A. D., ROJAS , J. M. & MONTES , D., 2011. *Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biologica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano.* Sincelejo: Universidad de Sucre.

Porta, J., Lopez, M. & Roquero, C., 2003. *EDAFOLOGIA Para la agricultura y el medio ambiente.* s.l.:Mundi-Prensa.

Ramirez, R., 2006. *www.monografias.com.* [En línea]
Available at:
http://www.monografias.com/trabajos14/problemadelagua/problemadelagua.shtml#agri
[Último acceso: 25 Septiembre 2010].

Ramon, A. & Rodas, F., 2007. *El control organico de plagas y enfermedades de los cultivos y la fertilizacion natural del suelo.* s.l.:s.n.

Read, D., 1999. *The state of the art.* Berlin: Springer-Verlag.

Remy, W., Taylor, T., Hass, H. & Kerp, H., 1994. *Arbuscular mycorrhizal symbiosis: an underground association.* s.l.:s.n.

Requena, N., 1995. *Exploración de la biodiversidad microbiana (hongos de las micorrizas arbuscula-Rhizobium-Rizobacterias) en un ecosistema mediterráneo desertificado, dirigida a una estrategia de revegetación.* Granada: s.n.

Rucks, L. y otros, 2004. *Propiedades Fisicas del Suelo.* Montevideo - Uruguay: s.n.

Sanchez, A., 1991. *Curso de Botanica y Fisiologia Vegetal.* Cali: s.n.

Sánchez, E. & Curetti, M., s.f. *Fruticultura y diversificación.* [En línea]
Available at:
http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblo/rompecabezas/pdfs/fyd49_suelos.pdf
[Último acceso: 15 Noviembre 2011].

Sanchez, M., 1999. *Endomicorrizas en los agro ecosistemas colombianos..* Cali: Feriva.

Sánchez, M., 2007. *Las endomicorrizas: expresión bioedáfica de importancia en el trópico.* Palmira: s.n.

Scribd, s.f. *Scribd- Diseños Experimentales.* [En línea]
Available at: http://es.scribd.com/doc/72107988/ASP-Gen Diseños experimentales
[Último acceso: Julio 2012].

Shannon, M., 1984. *Breeding, Selection, and the Genetics of Salt Tolerance.* s.l.:s.n.

SMART Growing intelligently, s.f. *SMART Growing intelligently.* [En línea]
Available at: http://www.smart-fertilizer.com/articulos/suelos-sodicos
[Último acceso: Abril 2012].

Solis, J. N., 2000. *Fundamentos de edafología.* San Jose C R: EUNED.

Taiz, L. & Zeiger, E., 1998. *Plant Physiology.* s.l.:Inc Publishers.

Thompson, L. & Troeh, F., 2002. *Suelos y su fertilidad.* Barcelona: Reverte.

Universidad Autonoma de Nayarit, 2006. *Ordenamiento Ecologico de la llanura costera del estado de Nayarit.* s.l.:s.n.

USDA, 2010. *Claves para la Taxonomía de Suelos.* s.l.:Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

Vallejo, F. & Estrada, E., 2004. *Produccion de Hortalizas en clima cálido.* Palmira (Valle del Cauca): Universidad Nacional de Colombia.

Zamolinski, A. F., 2000. *Experiecias en recuperación de suelos salinizados.* Buenos Aires: s.n.

12. ANEXOS

ANEXO 1. ANÁLISIS DE SUELOS Y PROMEDIO DE LOS DATOS USADOS EN EL EXPERIMENTO.

Figura 48. Resultados análisis químico y físico del suelo realizado por el Laboratorio Químico de Campo del Ingenio Providencia.

INGENIO PROVIDENCIA, S.A.
LABORATORIO QUIMICO DE CAMPO
Resultado Análisis de suelos
Fecha: Enero de 2011

HACIENDA: La Josepilla **Lote # 1, 2, 3 y 4**
DESTINATARIO:

METODOLOGIA DE ANALISIS	
pH: V.V.	- Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA - TEA
CE:	(USDA) en el Manual 60 (1964)
M.O:	Walkler Black
P:	Bray II B: Hunter (Colorimetria)
Ca, Mg, K y Na:	(NH4OAc - 1N - pH 7)
Textura:	Bouyoucos

		Lab.	pH	CEa	MO	P	Cationes intercambiables meq/100 g								Saturación de bases				Micronutrimentos					Textura Bouyoucos			
Lote	Prof.	Nº	V:V	dS/m	W.B	Bray II	Ca	Mg	K	Na	CIC	Ca/Mg	PSI	PMgl	%				ppm					(%)			Clasif.
Nº	cm		1:1		%	ppm									Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena	Limos	Arcillas	Tex.
1	0-30	3625	8.5	0.83	0.74	32.25	9.62	10.51	0.85	13.75	34.73	0.92	39.59	30.26	27.70	30.26	2.45	39.59	0.26	2.44	9.01	9.36	0.76	17.12	40.00	42.88	ArL
1	30-60	3626	8.6	1.87	0.61	32.10	11.00	13.50	0.66	18.35	43.51	0.81	42.17	31.03	25.28	31.03	1.52	42.17						15.12	34.00	50.88	Ar
2	0-30	3652	8.3	0.86	0.08	67.08	9.41	7.31	1.48	18.20	36.45	1.29	49.93	20.05	25.85	20.08	4.07	50.00	0.48	2.62	7.33	14.21	0.56	17.12	40.00	42.88	ArL
2	30-60	3653	9.0	1.87	0.30	63.06	9.50	9.87	1.12	21.00	41.49	0.96	50.61	23.79	22.90	23.79	2.70	50.61						13.12	38.00	48.88	Ar
3	0-30	3680	8.1	3.08	1.91	44.01	16.14	11.67	2.90	14.35	45.06	1.38	31.85	25.90	35.82	25.90	6.44	31.85	0.36	1.96	5.54	10.05	0.30	21.12	40.00	38.88	FAr
3	30-60	3681	8.3	3.12	0.56	30.46	17.97	19.80	2.13	22.65	62.55	0.91	36.21	31.65	28.73	31.65	3.41	36.21						15.12	30.00	54.88	Ar
4	0-30	3682	7.9	0.37	2.21	37.61	17.36	7.74	1.73	0.34	27.17	2.24	1.25	28.49	63.89	28.49	6.37	1.25	0.35	3.68	14.48	8.83	0.82	17.12	42.00	40.88	ArL
4	30-60	3683	8.2	0.57	0.73	22.58	19.98	13.93	2.20	0.73	36.84	1.43	1.98	37.81	54.23	37.81	5.97	1.98						21.12	34.00	44.88	Ar

Tabla 11. Promedio de los datos a 30 cm de profundidad de los resultados del análisis de suelos realizado por el Laboratorio Químico de Campo del Ingenio Providencia.

		Lab.	pH	CEa	MO	P	Cationes intercambiables meq/100 g								Saturación de bases				Micronutrimentos					Textura Bouyoucos			
Lote	Prof.	Nº	V:V	dS/m	W.B	Bray II	Ca	Mg	K	Na	CIC	Ca/Mg	PSI	PMgl	%				ppm					(%)			Clasif.
Nº	cm		1:1		%	ppm									Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena	Limos	Arcillas	Tex.
1	0-30	3625	8.5	0.83	0.74	32.25	9.62	10.51	0.85	13.75	34.73	0.92	39.59	30.26	27.70	30.26	2.45	39.59	0.26	2.44	9.01	9.36	0.76	17.12	40.00	42.88	ArL
2	0-30	3652	8.3	0.86	0.08	67.08	9.41	7.31	1.48	18.20	36.45	1.29	49.93	20.05	25.85	20.08	4.07	50.00	0.48	2.62	7.33	14.21	0.56	17.12	40.00	42.88	ArL
3	0-30	3680	8.1	3.08	1.91	44.01	16.14	11.67	2.90	14.35	45.06	1.38	31.85	25.90	35.82	25.90	6.44	31.85	0.36	1.96	5.54	10.05	0.30	21.12	40.00	38.88	FAr
4	0-30	3682	7.9	0.37	2.21	37.61	17.36	7.74	1.73	0.34	27.17	2.24	1.25	28.49	63.89	28.49	6.37	1.25	0.35	3.68	14.48	8.83	0.82	17.12	42.00	40.88	ArL
Prom			8.2	1.3	1.2	45.2	13.1	9.3	1.7	11.7	35.9	1.5	30.7	26.2	38.3	26.2	4.8	30.7	0.4	2.7	9.1	10.6	0.6	18.1	40.5	41.4	

ANEXO 2. FICHA TECNICA E INFORMACION GENERAL DEL INOCULO USADO EN EL EXPERIMENTO.

FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO

PRODUCTO: **MIKORHYZE**	LOTE: GLOAN 126
PRESENTACIÓN: BULTO POR 40 Kg.	FECHA: OCTUBRE 5/2011
PRODUCTOR: GLOMALES DE ANTIOQUIA	SEPTIEMBRE: ABRIL 5/2013

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

BIOESTIMULADOR A BASE DE HONGOS MICORRIZOGENOS

EN SUELO ESTERIL. CONTIENE: ESPORAS, MICELIO Y RAICES INFECTADAS, LIBRE DE PATOGENOS

pH DEL PRODUCTO	5.0-6.0
PORCENTAJE DE HUMEDAD GRAVIMETRICA	7%
% DE RAICES EN EL PRODUCTO	0.40%
NUMERO DE ESPORAS POR GRAMO MINIMO	50
NUMERO DE ESPORAS POR GRAMO PROMEDIO	200

ESPECIES PRESENTES EN EL PRODUCTO

Glomus fasciculatum
Scutellospora heterogama
Glomus mosseae
Glomus manihotis
Acaulospora rugosa
Entrophospora colombiana

INDICE DE DIVERSIDAD PROMEDIO 6

CONTROL DE CALIDAD EXTERNO:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN
LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE SUELOS
RESPONSABLE: PROFESOR WALTER OSORIO

CONTROL DE CALIDAD INTERNO:

LABORATORIO GLOMALES DE ANTIOQUIA
INGENIERO AGRÓNOMO-MICORRIZOLOGO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN
DIEGO MAURICIO VALENCIA RIOS

MODO DE EMPLEO:

EL PRODUCTO DEBE QUEDAR EN CONTACTO CON EL SISTEMA RADICAL DE LA PLANTA, ES DECIR, SE APLICA AL MOMENTO DE LA SIEMBRA O DEL TRANSPLANTE.

ASESORARSE DE UN INGENIERO AGRÓNOMO EN EL USO DE FUNGUICIDAS EN SU CULTIVO, ASI COMO EN LAS DOSIS Y FUENTES DE FERTILIZANTES.

ANEXO 3. DATOS ANALISIS QUIMICO DE CADA UNIDAD EXPERIMENTAL.

Tabla 12. Datos de pH y conductividad eléctrica (CE) encontrados para cada unidad experimental.

LÁMINA	REPETICIÓN	TIEMPO	MICO	pH1	pH2	pH3	Prom. pH	CE1	CE2	CE3	Prom. CE
T4	R3	T1	SM	8.9	8.8	9.2	9.0	1529.0	2136.0	2570.0	2078.3
T2	R2	T1	CM	8.6	8.6	8.6	8.6	2806.0	2808.0	2807.0	2807.0
T1	R2	T1	CM	8.8	8.8	8.6	8.7	870.0	833.0	872.0	858.3
T6	R1	T1	SM	8.7	8.7	8.6	8.7	1777.0	1791.0	1785.0	1784.3
T3	R3	T1	CM	8.6	8.8	8.9	8.8	1105.0	1241.0	1395.0	1247.0
T1	R3	T1	CM	8.1	8.2	8.0	8.1	392.0	363.0	386.0	380.3
T3	R1	T1	CM	9.0	9.1	8.9	9.0	1383.0	1377.0	1242.0	1334.0
T4	R1	T1	SM	8.6	8.6	8.6	8.6	1658.0	2051.0	1641.0	1783.3
T2	R3	T1	CM	8.1	8.1	8.0	8.1	1848.0	1787.0	1771.0	1802.0
T5	R3	T1	SM	9.0	9.1	8.9	9.0	496.0	488.0	487.0	490.3
T4	R2	T1	SM	8.9	8.7	8.8	8.8	1334.0	1780.0	1832.0	1648.7
T2	R1	T1	CM	8.6	8.7	8.7	8.6	1706.0	1845.0	1887.0	1812.7
T1	R1	T1	CM	8.8	8.3	8.8	8.6	2871.0	3030.0	2919.0	2940.0
T6	R3	T1	SM	9.0	9.1	9.0	9.0	1229.0	1238.0	1316.0	1261.0
T6	R2	T1	SM	8.7	8.8	8.8	8.8	476.0	492.0	387.0	451.7
T3	R2	T1	CM	8.3	8.2	8.1	8.2	840.0	878.0	777.0	831.7
T5	R2	T1	SM	8.2	8.1	8.1	8.1	1391.0	1370.0	1536.0	1432.3
T5	R1	T1	SM	8.2	8.2	8.0	8.2	1610.0	1766.0	1704.0	1693.3
T1	R2	T2	CM	8.5	8.5	8.5	8.5	573.0	556.0	539.0	556.0
T1	R3	T2	CM	8.5	8.5	8.5	8.5	680.0	728.0	702.0	703.3
T1	R1	T2	CM	8.6	8.4	8.5	8.5	2673.0	2423.0	2547.0	2547.7
T4	R3	T2	SM	8.4	8.5	8.5	8.5	4530.0	4600.0	4670.0	4600.0
T4	R1	T2	SM	8.0	7.9	8.0	8.0	697.0	692.0	737.0	708.7
T4	R2	T2	SM	8.4	8.4	8.4	8.4	483.0	530.0	572.0	528.3
T2	R1	T2	CM	8.0	8.0	8.0	8.0	2512.0	2472.0	2555.0	2513.0
T2	R3	T2	CM	8.7	8.8	8.7	8.7	2289.0	2152.0	2219.0	2220.0
T2	R2	T2	CM	8.4	8.4	8.5	8.4	1516.0	1476.0	1490.0	1494.0
T5	R1	T2	SM	8.5	8.2	8.6	8.4	1596.6	1601.6	1607.8	1602.0
T5	R2	T2	SM	8.6	8.5	8.5	8.5	1531.0	1597.0	1464.0	1530.7
T5	R3	T2	SM	9.0	8.8	8.9	8.9	1352.0	1478.8	1471.3	1434.1
T3	R1	T2	CM	8.0	7.9	8.0	8.0	1580.0	2023.0	1800.0	1801.0
T3	R3	T2	CM	8.5	8.5	8.5	8.5	2587.0	2103.0	2205.0	2298.3
T3	R2	T2	CM	8.9	8.9	8.9	8.9	3070.0	2494.0	2780.0	2781.3
T6	R3	T2	SM	8.0	8.0	8.0	8.0	784.0	781.0	785.0	783.3
T6	R1	T2	SM	8.5	8.5	8.5	8.5	1843.0	2002.0	1892.0	1912.3
T6	R2	T2	SM	8.6	8.3	8.4	8.4	1972.8	1880.6	1892.4	1915.3

ANEXO 4. DATOS PROMEDIO POR TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES EVALUADAS PARA CADA TIEMPO.

Tabla 13. Datos promedio por tratamiento de las variables evaluadas para el tiempo 1 (80 ddt).

	VARIABLES EVALUADAS							
TRATAMIENTO	LR (cm)	AF (cm^2)	LA (cm)	DT (cm)	MSH (%)	MST (%)	MSR (%)	INF (%)
T4	21.00	54.84	64.00	4.50	15.18	12.25	65.86	18.75
T5	18.67	16.60	45.00	4.23	14.05	9.11	33.82	24.70
T6	17.67	28.58	56.67	4.97	15.59	10.59	59.21	26.34
T1	23.67	88.38	71.67	5.27	16.10	14.22	47.08	68.04
T2	26.00	86.62	82.33	5.27	17.77	12.87	70.62	57.50
T3	20.50	16.79	45.00	4.60	13.00	8.73	46.16	59.63

Tabla 14. Datos promedio por tratamiento de las variables evaluadas para el tiempo 2 (125 ddt).

	VARIABLES EVALUADAS									
TRATAMIENTO	LR (cm)	AF (cm^2)	LA (cm)	DT (cm)	MSH (%)	MST (%)	MSR (%)	MSF (%)	INF (%)	Nº DE FRUTOS
T4	21.67	121.75	98.67	5.03	61.32	32.16	67.95	12.98	31.48	0.67
T5	23.00	183.44	100.0	6.00	59.83	30.52	41.67	0.00	53.33	0.00
T6	21.00	53.25	82.00	4.40	91.65	44.71	70.38	0.00	48.09	0.00
T1	31.33	84.05	69.67	5.03	68.29	35.81	62.33	8.71	49.67	1.67
T2	25.33	146.35	93.33	5.70	68.49	32.60	68.81	12.99	55.13	1.33
T3	32.33	103.36	87.33	5.97	71.28	37.29	72.80	12.24	59.85	1.00

ANEXO 5. RESULTADOS DEL ANOVA PARA CADA VARIABLE EVALUADA Y DE LA PRUEBA DE TUKEY PARA CADA VARIABLE QUE PRESENTO DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS REALIZADO CON EL PROGRAMA MINITAB 16 PARA CADA VARIABLE.

Factor	**Type**	**Levels**	**Values**
MICO	fixed	2	CM. SM
LÁMINA	fixed	3	100%. 90%. 80%

Análisis de varianza para cada variable, usando las SS ajustado para las pruebas.

- **AREA FOLIAR (AF)**

Tabla 15. Resultados ANOVA para la variable Área Foliar en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	6143.4	4414.4	4414.4	8.50	**0.013**
LÁMINA	2	4816.0	4816.0	2408.0	4.64	0.032
INTERACCIÓN						
ERROR	12	6228.8	6228.8	519.1		
TOTAL	15	17188.1				

Tabla 16. Resultados prueba de Tukey para el factor Lámina en el Tiempo 1 (80 ddt)*.

LÁMINA	N	Mean	Grouping
100%	5	71.6	A
90%	6	51.6	A B
80%	5	27.2	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 17. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 1 (80 ddt)*.

MICO	N	Mean	Grouping
CM	8	67.0	A
SM	8	33.3	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 18. Resultados ANOVA para la variable Área Foliar en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	288	430	430	0.24	0.636
LÁMINA	2	16704	16704	8352	4.58	**0.033**
INTERACCIÓN	2	7492.0	7492.0	3746.0	2.89	0.094
ERROR	12	21879	21879	1823		
TOTAL	15	46363				

Tabla 19. Resultados prueba de Tukey para el factor Lámina en el Tiempo 2 (125 ddt)*.

LÁMINA	N	Mean	Grouping
90%	5	162.2	A
100%	6	102.9	A B
80%	5	84.4	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

- **LONGITUD RADICAL (LR)**

Tabla 20. Resultados ANOVA para la variable Longitud Radical en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	95.06	79.43	79.43	1.83	0.201
LÁMINA	2	30.47	30.47	15.23	0.35	0.711
INTERACCIÓN	2	20.33	20.33	10.1667	0.24	0.788
ERROR	12	519.91	519.91	43.33		
TOTAL	15	665.77				

Tabla 21. Resultados ANOVA para la variable Longitud Radical en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	240.14	244.48	244.82	5.87	0.032
LÁMINA	2	34.18	34.18	17.09	0.41	0.673
INTERACCIÓN	2	53.444	53.444	26.772	0.71	0,510
ERROR	12	500.68	500.68	41.72		
TOTAL	15	828.44				

Tabla 22. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 2 (125 ddt)*.

MICO	N	Mean	Grouping
CM	9	29.7	A
SM	7	21.7	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

- **LONGITUD AÉREA (LA)**

Tabla 23. Resultados ANOVA para la variable Longitud Aérea en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	885.1	672.2	672.2	2.17	0.167
LÁMINA	2	518.5	518.5	259.3	0.84	0.457
INTERACCIÓN	2	1867.4	1867.4	933.722	5.39	0.021
ERROR	12	3724.4	3724.4	310.4		
TOTAL	15	6995.3				

Tabla 24. Resultados ANOVA para la variable Longitud Aérea en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	462.8	521.5	521.5	1.84	0.200

LÁMINA	2	505.6	505.6	252.8	0.89	0.436
INTERACCIÓN	2	939.78	465.38	465.38	2.15	0.159
ERROR	12	3404.1	3404.1	283.7		
TOTAL	15	5312.8				

- **DIAMETRO DE TALLO (DT)**

Tabla 25. Resultados ANOVA para la variable Diámetro de Tallo en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	1,1025	1,0566	1,0566	1,37	0,265
LÁMINA	2	0,0766	0,0766	0,0383	0,05	0,952
INTERACCIÓN	2	1,4878	0.7439	0.7439	1.06	0.376
ERROR	12	9,2784	9,2784	0,7732		
TOTAL	15	11,9453				

Tabla 26. Resultados ANOVA para la variable Diámetro de Tallo en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	0.7557	0.5924	0.5924	0.75	0.404
LÁMINA	2	1.5334	1.5334	0.7667	0.97	0.408
INTERACCION	2	2,3078	1,1539	1,1539	1,73	0.219
ERROR	12	9.5209	9.5209	0.7934		
TOTAL	15	11.8100				

- **MATERIA SECA HOJAS (MSH)**

Tabla 27. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Hojas en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	4,344	3,283	3,283	0,73	0,411
LÁMINA	2	4,639	4,639	2,320	0,51	0,611
INTERACCION	2	30.19	15.09	15.09	6.51	0.012
ERROR	12	54,214	54,214	4,518		
TOTAL	15	93.38				

Tabla 28. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Hojas en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	0.2	3.3	3.3	0.02	0.899
LÁMINA	2	728.4	728.4	364.2	1.87	0.196

INTERACCION	2	827.44	413.72	413.72	2.94	0.091
ERROR	12	2337.3	2337.3	194.8		
TOTAL	15	3893.94				

- **MATERIA SECA DE TALLO (MST)**

Tabla 29. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Tallo en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	14,254	8,501	8,501	0,93	0,355
LÁMINA	2	27,958	27,958	13,979	1,52	0,258
INTERACCION	2	24.104	12.052	12.052	1.62	0.239
ERROR	12	110,284	110,284	9,190		
TOTAL	15	176.594				

Tabla 30. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Tallo en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	2.81	2.41	2.41	0.05	0.828
LÁMINA	2	181.59	181.59	90.79	1.86	0.198
INTERACCION	2	113.266	56.63	56.63	1.99	0.180
ERROR	12	586.68	586.68	48.89		
TOTAL	15	884.34				

- **MATERIA SECA DE RAIZ**

Tabla 31. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Raíz en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	184.5	187.6	187.6	0.35	0.565
LÁMINA	2	485.0	485.0	242.5	0.45	0.646
INTERACCION	2	883.96	441.98	441.98	0.93	0.420
ERROR	12	6429.5	6429.5	535.8		
TOTAL	15	7098.9				

- **MATERIA SECA DE FRUTOS (MSF)**

Tabla 32. Resultados ANOVA para la variable Materia Seca de Frutos en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	130.18	146.10	146.10	1.53	0.240
LÁMINA	2	56.71	56.71	28.36	0.30	0.749
INTERACCION	2	285.33	142.66	142.66	1.94	0.187
ERROR	12	1147.80	1147.80	95.65		
TOTAL	15	1620.02				

- **PORCENTAJE DE INFECCION MICORRIZICA (%INF)**

Tabla 33. Resultados ANOVA para la variable porcentaje de infección micorrízica en el Tiempo 1 (80 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	5449,0	5265,4	5265,4	53,94	
LÁMINA	2	9,9	9,9	4,9	0,05	0,951
INTERACCION	2	325.85	162.92	162.92	2.20	0.154
ERROR	12	1171,4	1171,4	97,6		
TOTAL	15	6956.15				

Tabla 34. Resultados ANOVA para la variable porcentaje de infección micorrízica en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	606.8	486.4	486.4	3.28	0.095
LÁMINA	2	637.8	637.8	318.9	2.15	0.159
INTERACCION	2	181.64	90.821	90.821	0.68	0.526
ERROR	12	1780.9	1780.9	148.4		
TOTAL	15	3206.69				

- **NUMERO DE FRUTOS (Nº FRUTOS)**

Tabla 35. Resultados ANOVA para la variable Nº de Frutos en el Tiempo 2 (125 ddt).

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj M	F	P
MICO	1	4.3214	4.7410	4.7410	7.03	**0.021**
LÁMINA	2	1.3363	1.3363	0.6681	0.99	0.400
INTERACCION	2	01111	0.0556	0.0556	0.08	0.921
ERROR	12	8.0923	8.0923	0.6744		
TOTAL	15	13.8611				

Tabla 36. Resultados prueba de Tukey para el factor Mico en el Tiempo 2 (125 ddt)*.

MICO	N	Mean	Grouping
CM	9	1.3	A
SM	7	0.2	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*

ANEXO 6. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES EVALUADAS PARA CADA TIEMPO.

Tabla 37. Matriz de correlación para las variables evaluadas en el tiempo 1 (80 ddt).

VARIABLES	L.A (cm)	L.R (cm)	D.T (cm)	AF (m2)	MSR (%)	MST (%)	MSH (%)	INF (%)
L.A (cm)	1	0.84	0.80	0.96	0.72	0.90	0.94	0.38
L.R (cm)	0.84	1.00	0.67	0.88	0.46	0.72	0.68	0.69
D.T (cm)	0.80	0.67	1.00	0.78	0.50	0.74	0.79	0.65
AF (m2)	0.96	0.88	0.78	1.00	0.53	0.96	0.85	0.50
MSR (%)	0.72	0.46	0.50	0.53	1.00	0.51	0.69	-0.05
MST (%)	0.90	0.72	0.74	0.96	0.51	1.00	0.81	0.35
MSH (%)	0.94	0.68	0.79	0.85	0.69	0.81	1.00	0.22
% INFECCION	0.38	0.69	0.65	0.50	-0.05	0.35	0.22	1.00

Tabla 38. Matriz de correlación para las variables evaluadas en el tiempo 2 (125 ddt).

VARIABLES	L.A (cm)	L.R (cm)	D.T (cm)	AF (m^2)	Nº FRUTOS	MSF (%)	MSR (%)	MST (%)	MSH (%)	INF (%)
L.A (cm)	1	-0.56	0.48	0.76	-0.49	0.05	-0.32	-0.59	0.49	0.21
L.R (cm)	-0.56	1.00	0.39	-0.16	0.74	0.45	0.22	-0.01	0.14	0.56
D.T (cm)	0.48	0.39	1.00	0.78	0.15	0.25	-0.39	-0.67	0.65	0.57
AF (m^2)	0.76	-0.16	0.78	1.00	-0.12	0.05	-0.68	-0.89	0.80	0.12
Nº FRUTOS	-0.49	0.74	0.15	-0.12	1.00	0.75	0.38	-0.22	0.25	0.17
MSF (%)	0.05	0.45	0.25	0.05	0.75	1.00	0.58	-0.35	0.39	0.12
MSR (%)	-0.32	0.22	-0.39	-0.68	0.38	0.58	1.00	0.54	0.51	0.09
MST (%)	-0.59	-0.01	-0.67	-0.89	-0.22	-0.35	0.54	1.00	0.97	0.12
MSH (%)	-0.49	-0.14	-0.65	-0.80	-0.25	-0.39	0.51	0.97	1.00	0.16
% INF	-0.21	0.56	0.57	0.12	0.17	-0.12	-0.09	0.12	0.16	1.00

ANEXO 7. METODOLOGIA DE TINCION PARA OBSERVAR LA PRESENCIA DE HMA

Las raíces recolectadas se lavan con agua de llave o grifo, para eliminar todo el suelo e impurezas. Este procedimiento se realiza con mucho cuidado para evitar que dañe la estructura radical. Si se desea se puede dejar la muestra en remojo por un lapso de tiempo, en el cual el suelo adquiere humedad y el lavado en más eficiente.

Se toman solo raíces finas menores a 1 mm de diámetro, para facilitar la penetración de los reactivos, las raíces deben extenderse de manera que no queden apretadas dentro del tubo.

Tinción con tinta en vinagre (Vierheiling et al., 1998)

La solución colorante que se usa en esta metodología es la tinta negra y/o azul (Sheaffer) al 5% en vinagre de uso doméstico (vinagre blanco natural al 4%)*.

Procedimiento

Una vez lavadas las raíces se cortan con tijeras o bisturí en segmentos. Posteriormente se depositan en Beakers de aproximadamente 50 ml previamente rotulados. Para la decoloración, se agrega en suficiente KOH al 10% para cubrir completamente las raíces. Se lleva a la plancha de calentamiento y se deja hervir por 15 a 30 minutos, en algunos casos cando la raíz es muy pigmentada se requiere de un tiempo extra de decoloración.

Una vez terminado el tiempo de decoloración se lavan las raíces varias veces con agua de la llave, con una pinza se trasladan a tubos de ensayo, se cubren con la solución de tinta al 5% en vinagre, se depositan en el baño de María calibrado previamente a 90ºC y se dejan por 3 minutos.

Transcurrido el tiempo se retiran los tubos con la pinza y se depositan en la gradilla, se retira la tinta con agua y unas pocas gotas de vinagre se dejan por un lapso de 20 min y pasado este tiempo se lavan con agua de la llave.

Las muestras de raíces ya teñidas se retiran del tubo y se depositan en las cajas Petri para su observación en el estereoscopio, una vez registradas las observaciones se procede a tomar diferentes fragmentos de raíz de 1 cm o más y se depositan en el portaobjetos, se agrega una gota de agua destilada o PVLG, se coloca el cubre objetos para realizar las observaciones en el microscopio.

ANEXO 8. METODOLOGIA PARA LA ESTIMACION DEL PORCENTAJE DE COLONIZACION RADICAL POR HMA

Intersección de cuadrantes en placa.

Tiene la ventaja que considera la longitud del sistema radical o volumen de suelo del cual proviene la muestra, arrojando valores más reales de colonización.

Se toma una placa, en la cual se traza de manera indeleble, una malla compuesta por cuadrados de 12.7 mm de lado (0.5 pulgadas). Se vacía la muestra de raíz teñida y con agujas de disección, se distribuye al azar, procurando que cubran todo el área y no queden superpuestas. Se les adiciona un poco de agua, en forma tal que no se deslicen por la superficie.

Se ubica la placa bajo el microscopio, utilizando el objetivo que permita observar claramente la presencia de la simbiosis. Se comienza con la primera línea horizontal y se cuenta las intersecciones entre raíces y líneas, luego se pasa a la siguiente línea y así sucesivamente, teniendo en cuenta, en forma separada, los segmentos que presentan colonización y aquellos que no. Este proceso se hace de igual manera con las líneas

verticales. Cuando las raíces quedan paralelas a una de las líneas de la red y las tocan en varios puntos, se cuenta como dos intersecciones.

Para el cálculo de colonización total por HMA se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%\, Infección\, micorrizica = \left(\frac{C}{T}\right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

C= Número de campos colonizados por cualquier estructura de HMA.
T= Número total de campos observados.