UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE GUANAJUATO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIOTECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Evaluación de la combinación de fertilización convencional con productos biorracionales para incrementar la producción de tomate saladette (*Solanum lycopersicum*).

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOTECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

PRESENTA

Ing. Roberto Moreno Vidal

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Lorenzo Jarquín Enríquez

COORDINACIÓN GENERAL DE UNIVERSIDADES TECNOLÓGICAS y POLITÉCNICAS

Diciembre de 2016

Universidad Politécnica de Guanajuato

Maestría en Ciencias en Biotecnología Agroalimentaria

Evaluación de la combinación de fertilización convencional con productos biorracionales para incrementar la producción de tomate saladette (*Solanum lycopersicum*).

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en Biotecnología Agroalimentaria

Presenta:

Ing. Roberto Moreno Vidal

Dirigido por:

Dr. Lorenzo Jarquín Enríquez

Comité de Tesis:

Dr. Lorenzo Jarquín Enríquez	_____
Director interno	Firma
M. en C. Francisco Javier Vicente Magueyal	_____
Director externo	Firma
Dra. Gabriela Medina Ramos	_____
Asesor interno	Firma
Dr. Oscar Manuel Portilla Rivera	_____
Asesor externo	Firma
Dr. Francisco Quintanilla Guerrero	_____
Asesor externo	Firma

Dedicatoria:

Dedico esta tesis para todos aquellos que confiaron en mí, para todos aquellos que me alentaron a superarme e iniciar una nueva etapa de mi vida, para esas personas que estaban ahí cuando sentía que no podía y siempre me daban ánimos, para mis padres, hermanos, mi novia, familia y amigos que siempre me apoyaron

Agradecimientos:

Mi primer agradecimiento es a dios
Ya que si tú no me hubieses brindado todas las bendiciones que me diste, como: salud, energía, vitalidad, capacidad, valor, mucha paciencia, mi recorrido hubiera sido muy cansado y difícil.
Por todo lo que me brindaste y porque siempre caminaste a mi lado.
Mil gracias.
Roberto

A mi esposa Luz
Quiero darte las gracias por darme tu apoyo y alentarme a no ser conformista e iniciar y poder terminar con esta nueva etapa de mi vida profesional, por el soporte que me brindaste al no dejar que me diera por vencido todas las veces que sentí que no podía y que quería rendirme, ahí estabas tú para darme palabras de aliento y sobre todo demostrarme tu amor.
Gracias por estar ahí, y por creer en mí.
Tu esposo Roberto

A mis papás y hermanos
Porque gracias a su apoyo he logrado alcanzar todas las metas que me propuesto, porque siempre me alentaron y confiaron en mí, y porque gracias a su ejemplo creo haberme

convertido en una persona de bien y de la cual puedan estar orgullosos. Gracias a mis hermanos que también día a día me alentaban para seguir adelante.
Quiero que sepan que siempre los llevo en mi corazón, aunque no se los diga muy a menudo y que espero que algún día poder regresarles algo de lo mucho que ustedes me han brindado.
Su hijo Roberto Moreno V.

A mi profesor, amigo y asesor de tesis el Doctor Lorenzo Jarquín Enríquez.
Por todo el tiempo que dedicaste a mi trabajo, por todo el conocimiento que gratuitamente me brindaste y por todas las cosas nuevas que contigo aprendí las cuales ampliaron infinitamente mis conocimientos y formaron un nuevo criterio en mí, tanto académico como personal.
Por todos los consejos, los regaños y las correcciones los cuales siempre los tomé para ser mejor persona.
Mil gracias Amigo.

Con el más sincero de los agradecimientos:
A la empresa Biokrone y a sus ingenieros por haber confiado en mí y haberme otorgado las herramientas y los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo este proyecto.
Agradezco también a la Universidad Politécnica de Guanajuato, mi Alma Máter, por todas las facilidades otorgadas para que pudiera llevar a cabo este nuevo proyecto de vida.
A mis compañeros de posgrado que me ayudaron a lo largo de estos dos años, en todos los aspectos.

A mis amigos que conocí durante esta etapa quienes me brindaron su apoyo en cada momento mil gracias Miguel, Francisco y Susana.

Resumen

El uso excesivo de fertilizantes químicos en la agricultura convencional ha causado problemas en el medio ambiente como, contaminación de mantos freáticos y desgaste del suelo. Una alternativa para reducir ésta problemática es el uso de productos biorracionales, los cuales son derivados de microorganismos, plantas o minerales y se caracterizan por tener algún efecto favorable en la absorción de nutrientes en las plantas en las que se usan, además de un efecto en el control de plagas y enfermedades. En el presente estudio se evaluaron los efectos de diferentes niveles de fertilización convencional, combinado con productos biorracionales sobre el volumen de producción de tomate saladette (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de agricultura protegida. El estudio se realizó en un invernadero de tipo túnel de 100 m^2 de baja tecnología, en la Universidad Politécnica de Guanajuato en las épocas de primavera-verano y otoño-invierno del año 2015. Se prepararon 10 mezclas con 3 productos biorracionales: un biofortificante (A), Glumix; un fungicida natural (B), Natucontrol y un inoculante y bioactivador radicular (C), AZ Seed, los cuales se combinaron a diferentes dosis utilizando la metodología de un diseño de experimentos de mezclas. Se utilizó un diseño de experimentos de bloques para estudiar el efecto de estas mezclas combinadas en bloques de fertilización convencional (0, 25, 50, 75 y 100 %), además de dos testigos (producción y absoluto), en el experimento 1 (ciclo primavera – verano), mientras que para el experimento 2 (ciclo otoño – invierno) se utilizaron las mismas 10 diferentes mezclas de productos biorracionales pero con un único nivel de fertilización convencional el cual, fue el mejor nivel del experimento 1. Se utilizaron plantas de tomate tipo saladette determinado de la especie *Catia*, las cuales fueron inoculadas con los productos biorracionales, durante tres veces por ciclo cada 15 días, se realizaron los riegos y las labores culturales pertinentes para este cultivo, para ambos experimentos. Los resultados revelaron que el uso de una fertilización convencional combinada con productos biorracionales incrementa hasta un 50 % mas la producción de tomate sin embargo no son un sustituto, sino un complemento a la fertilización convencional para maximizar no soló el rendimiento sino también la estabilidad del sistema agrícola.

Palabras claves: fertilización convencional, productos biorracionales, producción, calidad, tomate saladette.

Summary

The excessive use of chemical fertilizers in conventional agriculture has caused problems in the environment, such as groundwater contamination and soil wear. An alternative to reduce this problem is the use of biorrational products, which are derived from microorganisms, plants or minerals and are characterized by having some favorable effect on the absorption of nutrients in the plants in which they are used, in addition to an effect on Pest and disease control. In the present study, the effects of different levels of conventional fertilization combined with biorrational products on the production volume of tomato saladette (Solanum lycopersicum) under protected agriculture conditions were evaluated. The study was carried out in a low-tech 100 m2 tunnel-type greenhouse at the Universidad Politécnica de Guanajuato during the spring-summer and autumn-winter seasons of 2015. Three bio-products were studied: a biofortifier (A), Glumix; A natural fungicide (B), Natucontrol and an inoculant and root bioactivator (C), AZ Seed, which were combined at different doses using a design of mixing experiments, with which 10 different treatments were generated (A: B: C). These mixtures were combined with five different levels of conventional fertilization (0, 25, 50, 75 and 100%), in addition to two controls (production and absolute), in experiment 1 (spring - summer cycle), while for the experiment 2 (autumn - winter cycle) the same 10 different mixtures of biorrational products were used, but with a single level of conventional fertilization, which was the best level of experiment 1. Salted tomatoes of the species Catia, Which were inoculated with the biorrational products, during three times per cycle every 15 days, the irrigations and the cultural tasks pertinent to this crop were realized, for both experiments. The results revealed that the use of a conventional fertilization combined with bio-rational products increases up to 50% more tomato production, however, they are not a substitute, but a complement to the conventional fertilization to maximize not only the yield but also the stability of the system agricultural.

Key words: conventional fertilization, biorrational products, production, quality, saladette tomato

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivo general 2

1.1.1 Objetivos específicos 2

1.2 Hipótesis 3

2. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1 Contaminación de origen agrícola 3

2.2 Antecedentes sobre fertilización 4

2.3 Nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas 6

2.4 Diseño de la solución nutritiva 7

2.5 Biorracionales 9

2.6 Biofertilizantes 9

2.7 Los rasgos potenciales característicos de algunos biofertilizantes 11

2.7.1 Fijadores de nitrógeno 11

2.7.2 Solubilizantes de fosfato 13

2.7.3 Absorbedores de fosfatos micorrizas (una antigua simbiosis en la agricultura orgánica) 14

2.7.4 Solubilizadores de zinc 14

2.7.5 Hongos micorrízicos 15

2.7.6 Bacterias promotoras de crecimiento 16

2.8 Biofungicidas 17

2.9 Mecanismos de biocontrol de *Trichoderma* spp. 18

2.10 Biocontrol por competencia 19

2.10.1 Fungistasis 19
2.10.2 Competencia por nutrientes 19
2.10.3 Antibiosis 20
2.10.4 Micoparasitismo 20
2.10.5 Degradación de la pared celular 21
2.10.6 Sinergismo 21
2.11 Perspectivas de los biofertilizantes 22
2.12 Estudios de caso (Tomate) 23
2.13 Generalidades del cultivo de tomate 25
2.13.1 Origen 25
2.13.2 Taxonomía y características de la planta 25
2.13.3 Crecimiento del fruto 26
2.13.4 Labores culturales 26
2.14 Requerimientos del cultivo de tomate 28
2.14.1 Temperatura 28
2.14.2 Humedad 28
2.14.3 Luminosidad 28
2.14.4 Suelo 29
2.15 Importancia mundial del tomate 29
2.16 Mercado nacional y estatal 30
2.17 Producción primaria 30
2.18 Estrategias para incrementar los rendimientos agrícolas 33
2.19 Agricultura sin labranza/de conservación 35
3. MATERIALES Y MÉTODOS 36
3.1 Localidad 36

3.2 Experimento (primavera – verano) 37
3.2.1 Material utilizado en el experimento (primavera – verano) 37
3.2.2 Programa de riegos de los tratamientos 40
3.2.3 Diseño Experimental experimento (primavera – verano) 42
3.2.4 Proporciones de los productos biorracionales 43
3.2.5 Tratamientos evaluados en el experimento (primavera-verano) 45
3.2.6 Ficha técnica de los productos utilizados en el experimento (primavera – verano) 48
3.2.7 Variables evaluadas en el experimento (primavera – verano) 49
3.2.8 Programa de aplicaciones de los tratamientos experimento (primavera – verano) 50
3.2.9 Labores culturales del experimento 50
3.2.10 Monitoreo de plagas y enfermedades del experimento 52
3.3 Materiales, métodos y equipos utilizados para las variables respuestas del primer experimento (primavera – verano) 53
3.3.1 Altura de la planta 53
3.3.2 Fisiopatías y etapas fenológicas de la planta 53
3.3.3 Peso radicular 54
3.3.4 Número de lóculos 54
3.3.5 ° Brix 55
3.3.6 Número de frutos 56
3.3.7 Peso promedio de frutos 56
3.3.8 Rendimiento total 56
3.4 Experimento (otoño – invierno) 56
3.5 Material utilizado en el Experimento (otoño – invierno) 57
3.6 Diseño experimental (otoño – invierno) 57

3.7 Tratamientos utilizados en el experimento (otoño – invierno).....58

3.8 Programa de aplicaciones de los tratamientos experimento (otoño – invierno).58

3.9 Labores culturales del experimento (otoño – invierno).....58

3.10 Variables evaluadas en el experimento (otoño – invierno) 59

3.11 Materiales, métodos y equipos utilizados para las variables respuestas del segundo experimento (otoño – invierno) 59

3.11.1 Altura de la planta.....59

3.11.2 Peso radicular.....59

3.11.3 Número de lóculos 60

3.11.4 ° Brix.....60

3.11.5 Número de frutos 61

3.11.6 Peso promedio de frutos 61

3.11.7 Rendimiento total.....62

4. RESULTADOS 62

4.1 Experimento 1 (primavera – verano).....62

4.1.1 Altura de planta.....62

4.1.2 Fisiopatías de las plantas del experimento primavera – verano.....64

4.1.3 Etapas fenológicas de la planta 65

4.1.4 Peso radicular.....66

4.1.5 Número de lóculos 69

4.1.6 ° Brix.....71

4.1.7 Número de frutos 74

4.1.8 Peso promedio de frutos 77

4.1.9 Rendimiento total.....80

4.2 Experimento 2 (otoño – invierno) 85

4.2.1 Altura de planta 85
4.2.2 Peso radicular 87
4.2.3 Número de lóculos (otoño – invierno) 90
4.2.4 ° Brix (otoño – invierno) 91
4.2.5 Número de frutos 93
4.2.6 Peso promedio de frutos 97
4.2.7 Rendimiento total 99
5. DISCUSIÓN 104
6. CONCLUSIONES 108
7. REFERENCIAS 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Ejemplo de solución nutritiva para el cultivo del tomate 7

Tabla 2.- Balance para la preparación de la solución nutritiva. 40

Tabla 3.- Demanda hídrica, durante el ciclo de producción. 41

Tabla 4.- Solución nutritiva a aplicar durante el ciclo de producción dependiendo de la etapa fenológica de la planta. 41

Tabla 5.- Mezclas de los tratamientos a utilizar en el experimento. 42

Tabla 6.- Concentraciones iníciales de los productos biorracionales 43

Tabla 7.- Diluciones de los productos biorracionales 45

Tabla 8.- Tratamientos evaluados 46

Tabla 9.- Descripción de los productos biorracionales. 48

Tabla 10.- Valores colorimétricos óptimos para un tomate maduro. 55

Tabla 11.- Altura de planta 62

Tabla 12.- Comparación de medias de altura de planta. 64

Tabla 13.- Fenología de las plantas 65

Tabla 14.- Promedio del peso radicular 66

Tabla 15.- Comparación de medias del peso radicular con respecto al nivel de fertilización. 68

Tabla 16.- Comparación de medias del peso radicular con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales. 68

Tabla 17.- Número de lóculos por fruto promedio por tratamiento y por nivel de fertilización. 69

Tabla 18.- ° Brix promedio por tratamiento y por nivel de fertilización. 71

Tabla 19.- Comparación de medias de los ° brix del tomate con respecto al nivel de fertilización. 73

Tabla 20.- Comparación de medias de los ° brix del tomate con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales.....73

Tabla 21.- Número de frutos por planta. 74

Tabla 22.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización. 76

Tabla 23.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales. 76

Tabla 24 .- Peso promedio de los frutos. 78

Tabla 25.- Comparación de medias del peso promedio de los frutos de tomate con respecto al nivel de fertilización. 79

Tabla 26.- Rendimiento total por tratamiento por nivel de fertilización. 80

Tabla 27.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto al nivel de fertilización. 81

Tabla 28.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto a los tratamientos con productos biorracionales. 82

Tabla 29.- Resumen del análisis estadístico del efecto de los factores, tratamiento y nivel de fertilización, sobre las variables analizadas, durante el ciclo primavera – verano. 84

Tabla 30.- Altura de la planta 85

Tabla 31.- Comparación de medias de altura de planta. 86

Tabla 32.- Peso radicular por tratamiento. 87

Tabla 33.- Comparación de medias sobre el peso radicular. 88

Tabla 34.- Número de lóculos. 90

Tabla 35.- ° Brix por tratamiento. 91

Tabla 36.- Comparación de medias de los ° brix del tomate con respecto al nivel de fertilización. 93

Tabla 37.- Número de frutos por tratamiento. 94

Tabla 38.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización, (ciclo otoño – invierno). 95

Tabla 39.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto a los tratamientos con productos biorracionales, (ciclo otoño – invierno).....96

Tabla 40.- Peso promedio de los frutos por tratamiento.....97

Tabla 41.- Comparación de medias de peso promedio de los frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización, (ciclo otoño – invierno).....99

Tabla 42.- Rendimiento total del ciclo otoño – invierno. 99

Tabla 43 .- Comparación de medias del rendimiento total con respecto al nivel de fertilización. 101

Tabla 44.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales, ciclo otoño – invierno. 101

Tabla 45.- Resumen de variables analizadas, durante el ciclo otoño – invierno. 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Superficie cosechada de tomate rojo, 2000 – 2012 (miles de hectáreas).....31
Figura 2.- Producción de tomate rojo por tipo de tecnología (millones de toneladas).....32
Figura 3. Resultados del análisis de suelo 38
Figura 4. Resultados del análisis de agua 39
Figura 5.- Distribución de los tratamientos y de los niveles de fertilización. 43
Figura 6.- Diluciones de los productos biorracionales. 44
Figura 7.- Inoculación a las plantas con los productos biorracionales. 45
Figura 8.- Marco de plantación.....47
Figura 9.- Distribución de los tratamientos 57
Figura 10. Alturas de las plantas por tratamiento y por nivel de fertilización.....63
Figura 12.- Fisiopatías presentadas en las hojas de las plantas de tomate.....65
Figura 12. Peso radicular por tratamiento y por nivel de fertilización. 67
Figura 13.- Comparación de los mejores tratamientos con respecto a los testigos para el peso radicular.....69
Figura 14.- Número de lóculos de frutos de tomate. 70
Figura 15.- ° Brix por tratamiento y por nivel de fertilización.....72
Figura 16.- Los mejores tratamientos comparados con los testigos para los ° brix en el fruto.....74
Figura 18.- Número de frutos de los mejores tratamientos comparados con los testigos. ..77
Figura 19. Peso promedio de los frutos de cada tratamiento y nivel de fertilización.....79
Figura 20. Rendimiento total. 81
Figura 21.- Producción total vs. nivel de fertilización.....83
Figura 22.- Producción total vs mejores tratamientos de productos biorracionales y testigos. 83
Figura 23.- Altura de la planta por tratamiento con un nivel de fertilización.....86
Figura 24. Peso radicular por tratamiento.....88
Figura 25.- Comparación de peso radicular entre tratamientos y testigos.....89

Figura 26.- Peso radicular.....89
Figura 27.- Número de lóculos por tratamiento.....91
Figura 28.- ° Brix por tratamiento. 92
Figura 29.- Comparación de ° Brix en el fruto, tratamiento con productos biorracionales como testigos. 93
Figura 30.- Número de frutos por tratamiento.....95
Figura 31.- Mejor tratamiento comparado con los testigos para la variable respuesta del número de frutos 97
Figura 33. Peso promedio de frutos por tratamiento. 98
Figura 33.- Rendimiento total del ciclo de producción. 100
Figura 34.- Producción total vs. nivel de fertilización.....102
Figura 35.- Producción total vs mejor tratamiento de productos biorracionales y testigos. 102

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial, el deterioro del medio ambiente y calidad de vida del hombre, son solo algunos de los tantos factores que han motivado al ser humano a buscar nuevos procesos de producción agrícola que permitan cubrir la demanda, cada vez más creciente, de alimento y materias primas a través de procesos donde se aprovechen los recursos naturales de manera sostenible e integrado así los conceptos de conservación y desarrollo para la plena satisfacción de las necesidades humanas. Se estima que para el año 2020 para alcanzar la meta de producción de 321 millones de toneladas de alimentos, el requerimiento de nutrientes será de 28.8 millones de toneladas mientras que su disponibilidad será solo de 21.6 millones de toneladas teniendo un déficit de alrededor de 7.2 millones de toneladas.

La agricultura convencional está basada en el uso de agroquímicos como insecticidas, fungicidas, fertilizantes, herbicidas y otros productos sintéticos, los cuales son utilizados de manera irracional, ocasionando un alto nivel de contaminación ambiental y daños a la salud humana.

El uso de técnicas biotecnológicas ha promovido alternativas de solución a esta problemática, generando productos amigables con el medio ambiente como los productos biorracionales, los cuales son sustancias producidas por microorganismos, plantas o minerales, que se descomponen en pocas horas de aplicarlas y que poseen un modo de acción único, que consiste en favorecer la absorción de nutrientes en las plantas en las que se usan, y ayudan al control de plagas y enfermedades, lo que permite generar sistemas de producción sostenibles.

Las características que distinguen a los productos biorracionales de los convencionales son los bajos niveles de toxicidad para especies que no son su objetivo, generalmente las dosis de uso es baja y rápida, usualmente trabajan bien en programas de manejo integral de plagas (MIP) y reducen la dependencia de los plaguicidas convencionales.

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico, considerando el número de hectáreas sembradas y consecuentemente el valor de la producción.

En México, el cultivo de tomate ha sobresalido por ser una de las hortalizas que más han contribuido al desarrollo y crecimiento del sector hortícola, además de ser un producto de alto valor agregado por unidad de peso siendo rentable en unidades de producción pequeñas. En el año 2015 en Guanajuato se cultivaron 907.39 hectáreas de tomate, y se estima que año con año aumente la cantidad de hectáreas sembradas.

El presente trabajo en colaboración con la empresa Biokrone, pretende generar información sobre el efecto de las proporciones de distintas mezclas de productos biorracionales, (glumix, AZ Seed y natucontrol) sobre la calidad y rendimiento en la producción de frutos de tomate saladette cultivados en agricultura protegida.

1.1 Objetivo general

Evaluar diferentes niveles de fertilización convencional combinados con mezclas de productos biorracionales para incrementar la producción de tomate saladette bajo condiciones de agricultura protegida.

1.1.1 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de cada mezcla con diferentes dosis de fertilización convencional sobre las características físicas de las plantas de tomate.

- Evaluar el efecto de cada mezcla con diferentes dosis de fertilización convencional sobre las características de calidad del fruto.

- Evaluar el efecto de cada mezcla con diferentes dosis de fertilización convencional sobre las variables de producción del tomate.

- Determinar la mejor mezcla en un experimento con el mejor nivel de fertilización obtenido en los objetivos específicos anteriores

1.2 Hipótesis

La implementación de distintos tipos de productos biorracionales, (glumix, natucontrol y AZ Seed) en forma individual o en mezcla, y una fertilización convencional influyen de manera positiva en el rendimiento del tomate saladette *(Solanum lycopersicum)* producidos bajo condiciones de agricultura protegida.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contaminación de origen agrícola

Cada día la población mundial crece en 250.000 personas, de manera que se estima que en el año 2020 se haya duplicado, y que casi el 95 % de este aumento tendrá lugar en los países del tercer mundo o países en desarrollo. También diariamente se pierden 180 km^2 de bosque tropical, 110 km^2 de zona agrícola se convierten en desierto y se crean de 3 a 5 nuevos compuestos químicos de uso agrícola. Con esta perspectiva, habrá que admitir que el principal problema social a escala mundial es atender las necesidades alimentarias de su población y, paralelamente, controlar el impacto ambiental que el incremento de la actividad agrícola puede causar. Desde el punto de vista de la necesidad de aumentar la producción agrícola se tiende hacia una agricultura intensiva, que requiere elevados 'inputs' y es altamente eficiente, pero también muy contaminante. Desde el punto de vista ambiental, se tiende hacia la agricultura biológica, con menor requerimiento de *inputs* pero de bajo rendimiento y altos costos de producción. Entre estos dos puntos de vista se sitúa la denominada agricultura sostenible que es aquella que maneja y utiliza con éxito los recursos disponibles, satisface las necesidades de la población, mantiene o mejora la calidad del medio ambiente y conserva los recursos naturales. Para alcanzar cierta sostenibilidad en las prácticas agrícolas se pueden aplicar diversas técnicas que se recogen en los códigos de buenas prácticas agrarias. Entre estas técnicas están la diversificación de cultivos, rotación de cultivos, lucha biológica, ingeniería genética, adecuado manejo del

suelo, control de los inputs, lucha integrada, mejora de las prácticas de cultivo y uso racional del agua.

La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos, embalses y estanques y da lugar a una explosión de algas que suprimen otras plantas y animales acuáticos. Los métodos agrícolas, forestales y pesqueros y su alcance, son las principales causas de la pérdida de biodiversidad del mundo. Los costos externos globales de los tres sectores pueden ser considerables.

La producción agropecuaria tiene profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Son la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También son la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso, y contribuyen en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y del agua.

La agricultura afecta también a la base de su propio futuro a través de la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar (Gonzáles, 2011).

2.2 Antecedentes sobre fertilización

Antes de que los fertilizantes químicos fueran utilizados, la tierra y los animales trabajaban en conjunto para mejorar la fertilidad del suelo. A través de la descomposición de proteínas puras naturales tales como las de los estiércoles, huesos, sangre, pescado o plumas, o las diversas formas de materiales procedentes de plantas y animales vivos o muertos, el suelo recibía esta materia orgánica, identificada como ‘La piedra angular de la fertilidad de los suelos’ y los nutrientes necesarios para elevar su nivel de fertilidad, pero con el crecimiento de la población, llega la necesidad de fertilizar en forma sintética y aunque en el mercado

se ofrecen fertilizantes orgánicos, las ventas de los fertilizantes de origen químico superan con creces la de los fertilizantes naturales debido a la rápida tasa de disponibilidad, característica principal de estos fertilizantes (Weaver, 1974).

Los fertilizantes orgánicos e inorgánicos o químicos, poseen tanto ventajas como desventajas, las ventajas de los fertilizantes inorgánicos o químicos es que poseen una rápida tasa de asimilación, ya que se encuentran en concentraciones mucho mayores y específicas que los fertilizantes orgánicos pero sus desventajas son que contribuyen a reducir la materia orgánica contenida en el suelo y el abuso en su utilización tiende a contaminar los mantos acuíferos de la zona. Por otro lado, los fertilizantes orgánicos tienen como principal desventaja la baja tasa de asimilación, ya que llevan a cabo todo un proceso para llegar a manifestar sus efectos, pero la ventaja es que tiene menos efectos secundarios en el caso de excederse en su uso y contienen una mayor cantidad de macro y micro elementos, lo que proporciona mayor cantidad de nutrientes a los cultivos. Además de mantener los nutrientes del suelo también retienen una mayor cantidad de humedad tan necesaria para el desarrollo adecuado de las plantas. Es así que los fertilizantes orgánicos reconstituyen los niveles de materia orgánica del suelo y con esto se incrementa la capacidad para retención de nutrientes minerales que se le aplican, mejorando su textura y estructura y la capacidad de retención de agua a diferencia de los fertilizantes inorgánicos que sólo aportan los nutrientes que se necesitan para solucionar el problema inmediatamente (Villa *et al*., 2005).

Los fertilizantes inorgánicos se utilizan cuando se cuenta con suelos en condiciones de baja fertilidad y que necesitan una rápida solución para no perder el cultivo que se está realizando. La utilización de fertilizantes orgánicos brinda grandes beneficios a los suelos, además su utilización no provoca los daños de los fertilizantes inorgánicos cuando las aplicaciones son excesivas y sin los procedimientos adecuados.

Si se necesita una rápida acción, la selección más propicia es la de los fertilizantes inorgánicos, que suministran las dosis justas de cada elemento que se necesite nitrógeno

(N), fósforo (P) y potasio (K). Si se cuenta con el tiempo necesario, la utilización de los fertilizantes orgánicos es una mejor opción (Weyers *et al.*, 2001).

Cuando diferentes factores inciden en los suelos dejándolos carentes de nutrientes, se debe tener la cultura de aplicar algún fertilizante para revertir esta situación y ya que el cultivo del tomate extrae alrededor de 3 kg de nitrógeno por tonelada de tomates producida, se necesitan no menos de 360 kg de nitrógeno orgánico si se esperan rendimientos de 120 t / ha (Rojas, 2003). Para disponer de altas cantidades de nitrógeno procedente de la descomposición del material orgánico es necesario aplicar altas cantidades de este material para lograr los requerimientos de un cultivo de tomate en invernadero, por lo que es difícil la fertilización completa con materiales orgánicos en cuanto al nitrógeno se refiere (Castellanos *et al.*, 1982).

2.3 Nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas

Los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas provienen del aire y el suelo. Del aire se obtiene el carbono como dióxido de carbono. En el suelo, el medio de transporte es la solución del suelo, del cual se obtiene el agua y los nutrientes fertilizantes o abonos orgánicos como el nitrógeno. Un ejemplo son los cultivos de especies leguminosas que obtienen el nitrógeno del aire con la ayuda de bacterias que nodulan en las raíces (*Rhizobium*, *Micorrizas*, etc.). Además mediante los biofertilizantes se puede disponer de fósforo (F), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Por lo tanto los abonos o residuos de cultivos aplicados al suelo aumentan la oferta de nutrientes de los cultivos (Cánovas, 2001).

2.4 Diseño de la solución nutritiva

Una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente (Steiner, 1968).

La selección de elementos nutritivos de una SN universal al momento de la absorción por la planta, se puede explicar desde un punto de vista fisiológico, al no variar el equilibrio iónico de la solución nutritiva durante el ciclo de cultivo; sin embargo, en una producción comercial, la nutrición de los cultivos debe tomar en cuenta aspectos técnicos y económicos. Desde un punto de vista técnico, para que las plantas puedan obtener los máximos rendimientos, la solución nutritiva debe cubrir sus requerimientos nutrimentales, de tal manera que se eviten deficiencias o el consumo en exceso.

La planta no absorbe nutrimentos en la misma cantidad durante el ciclo, ya que lo hace según la etapa fenológica y las condiciones climáticas, por lo que el equilibrio iónico de la solución nutritiva se adapta al ritmo de absorción de la planta.

Los parámetros que caracterizan la solución nutritiva son: el pH, la presión osmótica y las relaciones mutuas entre los aniones y los cationes (Adams, 1994; Rincón, 1997).

Ejemplo de solución base para el cultivo de tomate, que cambiará en función de los factores antes mencionados, (Tabla 1)

Tabla 1.- Ejemplo de solución nutritiva para el cultivo del tomate

Ejemplo de una solución base para el cultivo de tomate			
Macronutriente	µmol/L	Micronutriente	µmol/L
$N(NO_{-3})$	12	Fe	20

$N(NH_{+4})$	0.5	Mn	15
P	1.5	Zn	5
K	7.0	B	30
Ca	4.0	Cu	0.8
Mg	2.0	Mo	0.5
$S\ (SO_{-4})$	2.0		

Fuente: Cánovas, 2001.

Dentro de los macronutrientes suministrados en la solución nutritiva, a continuación se describen la importancia del nitrógeno, fósforo y del potasio en la fisiología de la planta.

El nitrógeno es absorbido por los vegetales tanto en forma de nitrato (NO^{-}_{3}) como de amoniaco (NH^{+}_{4}). El amonio es absorbido y utilizado fundamentalmente por plantas jóvenes, mientras que el nitrato es la principal fuente de nitrógeno utilizada durante el período de crecimiento. El nitrógeno ejerce numerosas funciones en la planta, forma parte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y bases nitrogenadas, además es constituyente de otros compuestos, entre los que se incluyen nucleótidos, amidas, aminas y varias coenzimas, por lo que juega un importante papel en numerosas reacciones metabólicas. Por otra parte, debido a que el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, una deficiencia del mismo origina un color amarillento en las hojas (clorosis), debido a la falta de clorofila. El nitrógeno es también un constituyente estructural de las paredes celulares.

Las proteínas de una planta son sintetizadas y degradadas continuamente, de ahí que el nitrógeno sea un elemento muy móvil dentro de la planta y se dirija progresivamente desde las partes más maduras de la planta hacia las hojas más jóvenes (Schrader, 1984), por lo que son las hojas ya viejas las que muestran primero los síntomas de deficiencia.
Las interacciones de un nutriente con otros son frecuentes en procesos metabólicos.

2.5 Biorracionales

Desde el punto de vista de sustancias activas, estos productos son en general derivados de microorganismos, plantas o minerales, también son moléculas sintéticas y análogas a las naturales, las cuales se caracterizan por tener algún efecto favorable en las plantas en las que se usan y un efecto desfavorable en insectos plaga y patógenos que causan enfermedades (insecticida, repelente, disuasivo, inhibición, retardo en el desarrollo) (Eiras *et al.*, 2009).

El estudio sobre el uso de biorracionales en el combate de estos insectos se encuentra en desarrollo, ya que mediante la elaboración de diferentes formulaciones naturales y de síntesis; diseñadas para un tipo de insecto en particular, permiten lograr su control efectivo. Por esta razón, algunos de estos productos son una alternativa para prescindir en forma gradual del uso de productos químicos (Polack *et al.*, 2002).

El uso de biorracionales en la agricultura y en el control de insectos vectores se ha incrementado debido a su bajo impacto ambiental y en algunos casos estos productos constituyen la principal herramienta de control de plagas y enfermedades (García *et al.*, 2012). En este sentido es importante seleccionar cuidadosamente el producto más adecuado para solucionar cada problema de plaga.

2.6 Biofertilizantes

Es un grupo de microorganismos o un microorganismo que favorece la captación de nutrientes, así como la formación de compuestos que se enfocan hacia una nutrición mejor de la planta; “lo importante de un biofertilizante es que favorezca la absorción de nutrientes y que permita un desarrollo radicular mejor, así podemos decir que nuestra planta explota mayor cantidad de superficie y puede tener mayor cantidad de nutrientes” (García, 2009).

Los biofertilizantes cuentan con importancia ecológica, porque disminuye la contaminación a la atmósfera; importancia económica, porque reduce costos y también tiene importancia

productiva, porque puede mejorar los rendimientos siempre y cuando se aplique de una forma adecuada y se dé el seguimiento completo al cultivo (INIFAP, 2009), además, juegan un papel muy importante en la mejora de la fertilidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, en asociación con raíces de las plantas, son solubilizadores de fosfatos insolubles de suelo y produce sustancias de crecimiento vegetal en el suelo (Venkatashwarlu, 2008a).

El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos ha dado lugar a la contaminación del suelo, de las cuencas de agua, a la destrucción de microorganismos e insectos benéficos, haciendo que el cultivo sea más propenso a enfermedades y a la reducción de la fertilidad del suelo.

- La demanda es mucho mayor que la disponibilidad. Se estima que para el año 2020, para alcanzar la meta de producción de 321 millones de toneladas de granos alimenticios, el requerimiento de nutrientes será de 28.8 millones de toneladas, mientras que su disponibilidad será sólo 21.6 millones de toneladas, habiendo un déficit de alrededor de 7.2 millones de toneladas.
- Agotamiento del material de alimentación de combustibles / fósiles (la crisis de la energía) y el aumento de costo de los fertilizantes. Esto se está convirtiendo en algo inasequible por los agricultores pequeños y marginales.
- Agotamiento de la fertilidad del suelo debido a la ampliación de la brecha entre la extracción y el suministro de nutrientes.
- La creciente preocupación por los peligros ambientales.

Además de los hechos anteriores, el uso a largo plazo de biofertilizantes es económico, respetuoso del medio ambiente, más eficientes, productivos y accesibles a los agricultores marginales (Venkataraman *et al.*, 1992).

2.7 Los rasgos potenciales característicos de algunos biofertilizantes

2.7.1 Fijadores de nitrógeno

Rhizobium: Pertenece a la familia *Rhizobiaceae*, simbiótica en la naturaleza, fijan el nitrógeno de 50-100 kg / ha. Con sólo legumbres. Es útil para las legumbres como garbanzos pulso, rojo - gramo, guisantes, lentejas, garbanzo negro, etc., leguminosas de semillas oleaginosas como la soja y el maní y leguminosas forrajeras como la alfalfa y el trébol de Alejandría. La nodulación con éxito de legumbres por Rhizobium depende en gran medida de la disponibilidad de la cepa compatible para una leguminosa en particular.
Coloniza las raíces de las leguminosas específicas para formar tumores como crecimientos llamados nódulos de las raíces, que actúa como fábricas de producción de amoníaco. Rhizobium tiene capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico en asociación simbiótica con leguminosas y no leguminosas como ciertos Parazonios.

La población de *Rhizobium* en el suelo depende de la presencia de cultivos de leguminosas en el campo. En ausencia de las legumbres, la población disminuye. La inoculación artificial de semilla es a menudo necesaria para restaurar la población de cepas eficaces de la *Rhizobium* cerca de la rizosfera para acelerar la fijación de nitrógeno. Cada leguminosa requiere una especie específica de *Rhizobium* para formar nódulos efectivos. Muchas legumbres pueden ser noduladas por diversas cepas de *Rhizobia*, pero el crecimiento se mejora sólo cuando los nódulos son producidos por cepas efectivas de *Rhizobium*. Por tanto, es extremadamente importante para que coincida con prudencia microsimbiontes para la fijación de nitrógeno máxima. Una cepa de *Rhizobium* que nodula y fija una gran cantidad de nitrógeno en asociación con uno especies de leguminosas también puede hacer lo mismo en asociación con otras especies de leguminosas (Wani *et al.*, 2002).

Azospirillum: Pertenece a la familia *Spirilaceae*, heterótrofos y asociativa en la naturaleza, además de su capacidad de fijación de nitrógeno de aproximadamente 20 a 40 kg / ha, también producen sustancias reguladoras del crecimiento. Aunque hay muchas especies bajo este género como, *A.amazonense, A.halopraeferens A.brasilense,* la distribución

mundial y los beneficios de la inoculación han sido demostrados sobre todo con la *A.lipoferum y A.brasilense*.

Azospirillum forma simbiosis asociativa con muchas plantas en particular con las que tienen la ruta de C4 dicarboxílico de la fotosíntesis, debido a que crecen y fijan el nitrógeno en sales de ácidos orgánicos tales como ácido málico, aspártico (Arun, 2007a).
Por lo tanto, es principalmente recomendada para el maíz, caña de azúcar, sorgo, mijo perla, etc. El *Azotobacter* colonizando las raíces no sólo permanece en la superficie de la raíz, sino también una proporción considerable de ellos penetra en los tejidos de la raíz y vive en armonía con las plantas. Sin embargo, no producen ningún tipo de nódulos visibles.

Azotobacter: Pertenece a la familia *Azotobacteriaceae*, aeróbica, de vida libre, y heterótrofos en la naturaleza. *Azotobacterias* están presentes en los suelos neutros o alcalinos. El número de *Azotobacter*, rara vez excede de 10^4 a 10^5 g^{-1} de suelo debido a la falta de materia orgánica y la presencia de microorganismos antagonistas en el suelo. La bacteria produce antibióticos antifúngicos que inhibe el crecimiento de varios hongos patógenos en la región de raíz evitando de este modo la mortalidad de plántulas en cierta medida (Subba Rao, 2001a). El cultivo aislado de *Azotobacter* fija sobre 10 mg de nitrógeno g^{-1} de fuente de carbono en condiciones in vitro. *Azotobacter* también conocida para sintetizar sustancias promotoras del crecimiento biológicamente activos, tales como vitaminas del grupo b, ácido indol acético (IAA) y giberelinas. Muchas cepas de *Azotobacter* también exhiben propiedades estáticas contra hongos patógenos de plantas tales como *Fusarium, Alternaria* y *Helminthosporium.*
La población de *Azotobacter* es generalmente baja en la rizósfera de las plantas de cultivo y en suelos no cultivados. La aparición de este organismo se ha informado de la rizósfera de un número de plantas de cultivo tales como arroz, maíz, caña de azúcar, verduras (Arun, 2007a).

Las algas verdiazules (c*ianobacterias*) y *Azolla:* Estos pertenece a ocho familias diferentes, de fotótrofos en la naturaleza producen auxinas, ácido indol acético y ácido giberélico, pueden fijar 20-30 kg de N / ha en campos de arroz acuático, ya que son abundantes en

arroz , por lo que también se conoce como organismos de arroz. El nitrógeno es la materia prima clave requerida en grandes cantidades para la producción de arroz bajo tierra. El nitrógeno del suelo y la fijación biológica de nitrógeno por los organismos asociados son las principales fuentes de nitrógeno para el arroz bajo tierra. El requisito de 50-60 % de nitrógeno, se cumple a través de la combinación de la mineralización del nitrógeno del suelo orgánico y la fijación biológica de nitrógeno por una vida libre y bacterias asociadas planta de arroz (Roger *et al.,* 1992). Para lograr la seguridad alimentaria a través de la agricultura sostenible, la exigencia de nitrógeno fijado debe ser cada vez más reunió por la fijación biológica de nitrógeno en lugar de por la fijación de nitrógeno industrial.

2.7.2 Solubilizantes de fosfato

Varios informes han examinado la capacidad de diferentes especies bacterianas para solubilizar compuestos de fosfatos inorgánicos insolubles, tales como fosfato tricálcico, fosfato dicálcico, hidroxiapatita, y fosfato de roca. Entre los géneros bacterianos con esta capacidad son *Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium, Burkholderia, Achromobacter, Agrobacterium, Microccocus, Aereobacter, Flavobacterium y Erwinia.* Hay poblaciones considerables de bacterias solubilizantes de fosfatos en el suelo y en la rizosfera de plantas. Estos incluyen ambas cepas aerobias y anaerobias, con una prevalencia de cepas aeróbicas en suelos anegados. Una concentración considerablemente más alta de bacterias solubilizantes fosfato se encuentra comúnmente en la rizosfera en comparación con el suelo, (Raghu *et al.,* 2000). Las bacterias del suelo pertenecientes a los géneros *Pseudomonas y Bacillus* son más comunes. El mayor medio microbiológico mediante el cual se movilizaron compuestos insolubles de fosforó es por la producción de ácidos orgánicos, acompañado por la acidificación del medio. Los ácidos orgánicos e inorgánicos convierten el fosfato tricálcico a di y fosfatos monobásicos con el resultado neto de una mayor disponibilidad del elemento a la planta. El tipo de ácido orgánico producido y sus cantidades difieren con diferentes organismos. tri y di ácidos carboxílicos son más eficaces en comparación a mono ácidos alifático básicos y aromáticos también se encuentra que son más eficaces en comparación con fenólico, cítrico y fumárico.

2.7.3 Absorbedores de fosfatos micorrizas (una antigua simbiosis en la agricultura orgánica)

El término micorriza denota "raíces de hongos". Es una asociación simbiótica entre plantas hospederas y cierto grupo de hongos en el sistema de la raíz, en la que el socio de hongos se ve beneficiado por la obtención de sus requisitos de carbono de los fotosintatos del huésped y el anfitrión a su vez se beneficia mediante la obtención de los nutrientes tan necesarios en especial fósforo, calcio, cobre, zinc, etc., que son de otro modo inaccesibles a la misma, con la ayuda de las hifas absorbente fino del hongo. Estos hongos están asociados con la mayoría de los cultivos agrícolas, con excepción de aquellos cultivos/plantas pertenecientes a las familias de *Chenopodiaceae, Amaranthaceae, Caryophyllaceae, Polygonaceae, Brassicaceae, Commelinaceae, Juncaceae y Cyperaceae* (Mosse *et al*., 1981).

2.7.4 Solubilizadores de zinc

Los fijadores de nitrógeno como *Rhizobium, Azospirillum, Azotobacter*, y bacterias solubilizantes de fosfatos como *B. magaterium, Pseudomonas striata*, y la movilización de micorrizas han sido ampliamente aceptados como biofertilizantes (Subba Roa, 2001a).

Sin embargo, estos sólo representan nutrientes importantes, pero una gran cantidad de microorganismos que pueden transformar micronutrientes hay en el suelo que puede ser utilizado como biofertilizantes para suministrar micronutrientes como el zinc, hierro, cobre, etc.

El zinc se encuentra en la corteza terrestre, por una suma de 0.008 %, pero más del 50 % de la deficiencia de suelos expuesto con contenidos de zinc debe estar por debajo del nivel crítico de 1.5 ppm de zinc disponibles (Katyal *et al.*, 1993). Las limitaciones de la planta en la absorción de zinc del suelo son superados por la aplicación externa de sulfato de zinc soluble ($ZnSO_4$). Pero el destino de zinc aplicada en las condiciones del suelo sumergido es penoso y sólo 1-4% de zinc total disponible es utilizado por el cultivo y 75% de zinc

aplicado se transforma en diferentes fracciones minerales (fijación-Zn) que no están disponibles para la absorción de la planta (óxido de hierro cristalino y zinc residual).

El zinc se puede solubilizar por microorganismos., *B. subtilis, thioxidans Thiobacillus y Saccharomyces sp.* Estos microorganismos se pueden usar como biofertilizantes para la solubilización de micronutrientes fijos como el zinc (Raj, 2007).

Actualmente los microorganismos empleados como biofertilizantes son hongos micorrízicos de los géneros: *Acaulospora, Entrophosfora, Gigaspora, Scutellospora, Sclerocystis y Glomus*, pertenecientes a la familia Endogonaceae de la clase Zygomicetos, y especies de bacterias de géneros como *Rhizobium, Bradyrhizobium, Azotobacter, Frankia, Beijerinckia y Azospirillum* (Ibarra-Flores, 2012).

2.7.5 Hongos micorrízicos

Existen 125 especies de hongos capaces de formar micorrizas con la gran mayoría de plantas superiores (Ibarra-Flores, 2012). La palabra micorriza viene de la palabra mykos y significa hongo de la planta y se define como una relación simbiótica entre las raíces de las plantas y un hongo del suelo.

Las micorrizas se clasifican como ectomicorrizas, las cuales se forman alrededor de la raíz, y endomicorrizas, que se forman en el interior de la raíz. Cuando éstas se forman se altera la fisiología y exudación de la raíz, cambiando la población microbiana de la rizósfera. Adicionalmente, el micelio extraradical, se extiende más de 9 cm, aumentando de esta manera la actividad microbiana debido a que es sustrato para otros microorganismos (Ibarra-Flores, 2012).

Los hongos micorrízicos favorecen la absorción de minerales, principalmente los menos móviles y solubles, por medio de las hifas, que consiguen aportar hasta un 80 % del fósforo

(P), 25 % del nitrógeno (N), 10 % del potasio (K), 25 % del zinc (Zn), y 60 % del cobre (Cu) del total de dichos nutrientes requeridos por las plantas. (Alemán-Martínez, 2006).
La simbiosis que se establece entre plantas y hongos producen alteraciones metabólicas y citológicas en las células de la planta, que sintetiza, entre otros compuestos, lignina, fitoalexinas, suberina, flavonoides, y compuestos fenólicos, evitando la infección de patógenos (Rodríguez *et al.*, 2004), entre ellos algunos hongos como P*hytoptora*, *Phytium*, y *Fusarium* (Ibarra-Flores, 2012).

Los hongos micorrízicos contribuyen también a mantener unidas las partículas del suelo, previniendo la erosión. Algunas especies ayudan a las plantas a prevenir enfermedades, al ser antagónicos de algunos microorganismos patógenos (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2007); de esta manera se disminuye el uso de agroquímicos.

Las plantas inoculadas con hongos micorrízicos presentan mejores características morfológicas y agronómicas, como mayor sanidad, vigor y calidad (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2012), mayor crecimiento y enraizamiento de las plántulas, reducción de requerimientos de adición de fósforo, mayor tolerancia a estrés por factores abióticos e incremento en la producción de frutos.

2.7.6 Bacterias promotoras de crecimiento

Las funciones de las bacterias promotoras del crecimiento (BPC) en las plantas son muy diversas, incluyen solubilizar fosfatos (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2007), lo que favorece la secreción de ácidos orgánicos y enzimas que liberan el fosfato atrapado en los aniones Al^{2+}, Fe^{2+},$^{3+}$ y Ca^{2+} quedando el fosforo (P) libre para las plantas. Participan en la fijación del nitrógeno (N), lo que incrementa la toma de agua y mejoran el desarrollo radicular de las plantas; la estimulación que provocan en la actividad enzimática de las plantas favorece a otros microorganismos benéficos (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2007).

Del total del nitrógeno (N) que se incorpora a las plantas, más del 60% es por medios biológicos de asociaciones de bacterias con las plantas (Alemán-Martínez, 2006). Por lo que una herramienta importante en la captación de nitrógeno atmosférico por parte de las plantas ha sido la utilización de inoculantes elaborados con los géneros *Rhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium*o, *Azorhizobium* (Alarcón *et al.,* 2000).

2.8 Biofungicidas

Están compuestos de microorganismos beneficiosos tales como hongos o bacterias que actúan sobre enfermedades patógenas en las plantas. Los biofungicidas constituyen una alternativa a los fungicidas químicos y se utilizan como parte de un programa de control de enfermedades con el objetivo de reducir el riesgo de las plantas de contraer enfermedades que desarrollan resistencias a los fungicidas químicos.

Mediante el uso de hongos y bacterias antagonistas se han podido conocer estrategias con mayor potencial para el control de enfermedades ocasionadas por patógenos del suelo (Cook *et al*., 1983). Muchas especies saprofitas como *Trichoderma harzianum*., *Gliocladium spp*., y *Verticillium lecanii* son antagonistas de varios organismos plaga, incluyendo patógenos de plantas, malezas e insectos (González *et al.,* 1998). Por otra parte sobreviven durante periodos relativamente largos como formas de resistencia, haciendo innecesaria la reinfección continua con el agente biocontrolador (Wainwright*et al.,* 1995).
El *Trichoderma harzianum* es un ejemplo de biofungicida que protege las raíces de las plantas y suprime enfermedades de las hojas. Otro ejemplo de biofungicida es el *Trichoderma viride* utilizado para eliminar riesgos de enfermedades causadas por hongos patógenos.

Las especies de *Trichoderma* han sido investigadas como agentes de control biológico (BCAs) de enfermedades fúngicas por cerca de 70 años (Hjeljord *et al*., 1998), pero es solo recientemente que las cepas han comenzado a ser comerciales aprovechables. El éxito de las cepas de *Trichoderma* como (BCAs) es debido a su alta capacidad reproductiva, habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, eficiencia en la

utilización de nutrientes, capacidad para modificar la rizósfera, fuerte agresividad contra hongos fitopatógenos y eficiencia en promoción de crecimiento en plantas e inducción de mecanismos de defensa (Benítez *et al* ., 2004).

Estas propiedades han hecho que *Trichoderma* se presente en cualquier hábitat en una alta proporción. Las diferentes especies de *Trichoderma* se caracterizan por tener un crecimiento micelial rápido y una abundante producción de esporas que ayuda a la colonización de diversos sustratos y del suelo. Así mismo pueden producir enzimas extracelulares, antibióticos antifúngicos, ser competidores contra hongos patógenos, promover el crecimiento en plantas, e inducir resistencia (Zimand *et al.,* 1996). Además compiten muy bien por nutrientes, son micoparásitos muy activos y son competidoras muy eficientes de la rizosfera (Papavizas *et al*., 1985).

Además, se ha encontrado que algunas especies de *Trichoderma*, especialmente *Trichoderma harzianum* tienen el potencial de aumentar el crecimiento y desarrollo de las plantas; esto parece deberse a la inhibición de patógenos menores y a la producción de factores que estimulan el crecimiento de la planta y favorecen la toma de nutrientes, (Widham *et al.*, 1986).

Los procedimientos por los cuáles se promueve la actividad de biocontrol contra fitopatógenos fúngicos se fundamenta sobre la activación de múltiples mecanismos entre los que se encuentran: la inactivación de las enzimas del patógeno, la competencia por el espacio y nutrientes, la secreción de metabolitos secundarios con efecto antibiótico y el ataque directo a otro hongo o micoparasitismo. Además indirectamente *Trichoderma*, es capaz de proteger a la planta del patógeno, mediante la inducción de sus sistemas de defensa (Benítez, 2004).

2.9 Mecanismos de biocontrol de *Trichoderma* spp.

El entendimiento de la diversidad genética de cada cepa dentro de las especies de *Trichoderma* y sus mecanismos de biocontrol ha permitido mejorar la aplicación de las

diferentes cepas. Estos mecanismos son diversos, complejos y pueden actuar sinergicamente para lograr el control de enfermedades (Howell *et al.*, 2003).

Las diferentes especies de *Trichoderma* ejercen el biocontrol de una manera indirecta bien sea por competencia por nutrientes o espacio, antibiosis (producción de metabolitos), modificando las condiciones ambientales o mediante la producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal y de una forma directa por micoparasitismo (Benítez, 2004).

2.10 Biocontrol por competencia

2.10.1 Fungistasis

Un buen antagonista es capaz de superar el efecto fungistático que resulta de la presencia de diferentes metabolitos producidos por otras especies, incluyendo plantas, y sobrevive bajo condiciones adversas o competitivas (Benítez, 2004).
Las cepas de *Trichoderma* crecen rápidamente cuando se inoculan en suelo ya que son naturalmente resistentes a muchos compuestos tóxicos incluyendo herbicidas, fungicidas y pesticidas tales como DDT, y compuestos fenólicos (Chet, 1997) además recuperan muy rápidamente después de la adición de dosis sub letales de algunos de estos compuestos.

2.10.2 Competencia por nutrientes

La inanición es la causa más común de muerte para microorganismos, la competencia por nutrientes limitantes, resulta en un control biológico de hongos fitopatógenos, antagonistas y micoparásitos (Chet *et al.*, 1997). Un ejemplo claro de este mecanismo de acción se encuentra representado en hongos filamentosos, donde la toma de hierro es esencial para la viabilidad de los mismos. Bajo condiciones de deficiencias de hierro, el hongo excreta agentes quelantes específicos de bajo peso molecular llamados sideróforos, que le permiten tomar el hierro en forma reducida (Eisendle *et al.*, 2004), citado por Chávez (2004)

2.10.3 Antibiosis

La antibiosis ocurre durante la interacción de los compuestos difusibles de bajo peso molecular o antibióticos producidos por cepas de *Trichoderma* que inhiben el crecimiento de otros microorganismos. Además las cepas de *Trichoderma* producen metabolitos tóxicos volátiles y no volátiles que impiden colonización por microorgansimos antagonizados; entre estos metabolitos, la producción de ácido harzianico, alameticinas, tricholinas, peptaiboiles, antibióticos, 6-penthyl-pirona, massoilactona, viridina, gliovirina, glisoperonas, ácido heptéldico y otros están siendo descritos (Howell *et al*., 1998).

2.10.4 Micoparasitismo

El ataque directo de un hongo a otro es un proceso muy complejo que involucra eventos secuenciales, incluye reconocimiento, ataque y penetración subsecuente y muerte al huésped. *Trichoderma spp* puede ejercer control directo por el rango de parasitismo de hongo, detectando otros hongos y creciendo sobre él. (Benítez *et al.*, 2004).

El proceso de micoparasitismo ejercido por *Trichoderma* se produce en varias etapas sucesivas. Comienza por el crecimiento quimiotrófico de *Trichoderma* hacia el hospedador, estimulado por moléculas procedentes del mismo, de naturaleza desconocida. Las únicas que se han detectado hasta ahora son aminoácidos y azúcares, por lo que no cabe esperar que la inducción sea específica del hospedador (Chet *et al.*, 1981).

Los hongos del género *Trichoderma* se adhieren con carbohidratos unidos a lectinas en la pared celular del patógeno. Una vez *Trichoderma* es adherido se enrosca alrededor del patógeno y forma el apresorio (Howell, 2003). El paso siguiente consiste de la producción de CWDE´s, peptaiboles y enzimas hidrolíticas CWDE´s (Howell, 2003), lo cual facilita la entrada de la hifa de *Trichoderma* dentro del lumen del hongo parasitado y la asimilación del contenido de la pared celular (Benítez *et al*., 2004).

2.10.5 Degradación de la pared celular

La lisis es el mecanismo en el cual intervienen las enzimas hidrolíticas producidas por los microorganismos antagonistas como factores biocontroladores. Se ha observado que *Trichoderma spp*, produce celulasas, glucanasas y quitinasas que degradan "in vitro "la celulosa de las paredes celulares de microorganismos oomycetes y la quitina y B-1,3 glucanos de las paredes celulares de microorganismos Deuteromycetes como *Gliocladium spp* (Elad *et al.*, 1982).

El sistema quitinolìtico de *Trichoderma* comprende muchas enzimas y la lista de estos componentes inicia con la actualización de nuevas enzimas y genes reportados. Las quitinasas son divididas dentro de 1,4 acetil glucos aminidasas (glucanasas), endoquitinasas y exoquitinasas. De igual forma las (glucanasas), 1,3-glucanasas, así como las quitinasas actúan sinérgicamente e inhiben la germinación de la espora y el crecimiento de algunos patógenos (Benítez, 1998).

Se ha mostrado que 1,3 – glucanasas inhiben la germinación de esporas o el crecimiento de patógenos en cooperación sinérgica con quitinasas (Benítez, *et al.*, 1998) y antibióticos (Harman *et al.*, 2004).

2.10.6 Sinergismo

El sinergismo entre la actividad de enzimas líticas y antibióticos, es la mejor estrategia para ser un buen controlador, además de abrir el campo para posibles cepas transformantes que puedan producir las diferentes enzimas logrando un sinergismo que sea relevante (Benítez, 2004). Para obtener los máximos beneficios de los fungicidas se deben de utilizar de forma preventiva, esto es, antes del desarrollo de la enfermedad ya que no curan la enfermedad una vez está instalada. Una aplicación a tiempo protegerá la planta de posibles ataques permitiendo un desarrollo óptimo de las raíces. (Agroterra, 2012).

2.11 Perspectivas de los biofertilizantes

El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes ya que en la actualidad se usa BPCP y hongos micorrizicos, entre los productores de plántulas en invernaderos y viveros, así como el incremento de microempresas productoras de abonos orgánicos que incluyen los biofertilizantes y la producción de estos insumos por los propios productores, que los introducen a un manejo más sustentable del suelo, estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional, sobre todo en el noroeste del país, aun siendo donde se tiene la tecnología agrícola más avanzada. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y los animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas **(**Fundación Produce, 2006).

La mayor demanda de abonos orgánicos por los productores agrícolas vienen siendo los fermentados líquidos (compostas liquidas y biofertilizantes líquidos) que al aplicarse al suelo tienen importantes beneficios entre los que destacan, el aumento en los nutrientes (Eghball *et al*., 2004); mejoramiento de la capacidad del suelo para retener agua; mejores condiciones físicas para el desarrollo de las raíces y el laboreo del suelo (Badaruddin *et al*.,1999); control de algunas enfermedades del suelo que causan la pudrición de raíces, y un aumento en la actividad microbiana (Kannangara *et al*., 2000; Litterick *et al*., 2004).

Otras razones de la preferencia de estos abonos líquidos son: a) Que pueden aplicarse de muchas maneras incluyendo el agua de riego que puede ser por gravedad o presurizado. b) Fácil manejo por las motobombas que reducen jornales. c) No requiere equipo especializado para su almacenamiento y aplicación y d) Se tiene mejor control de la cantidad aplicada al manejarse en volumen y no en peso.

El incremento de estas microempresas y practica del productor de producir su propio fertilizante (biofertilizantes), debe ser fomentada y mejorada por los centros de investigación y organismos relacionados con la agricultura, para optimizar esta actividad que se traduzca en mayores ganancias y mejoras al ambiente. Entre las actividades a mejorar esta el de seleccionar microorganismos nativos de la región en la producción de biofertilizantes, ya que así se dan mayores posibilidades del establecimiento y multiplicación del mismo en el suelo, lo que permitirá un mayor beneficio en la planta (Armenta-Bojorquez *et al.*, 2009).

2.12 Estudios de caso (Tomate)

Santillana *et al*. (2005) evaluaron 19 cepas del genero *Rhizobium* aisladas de raíces de diferentes leguminosas y de distintas regiones, en el crecimiento y germinación en tomate. De 19 cepas evaluadas, siete estimularon el crecimiento de las plantas de tomate, nueve promovieron la germinación de las semillas, y únicamente dos de esas cepas presentaron efecto positivo en la germinación y crecimiento de plantas de tomate.

Terry *et al.* (2005) evaluaron bacterias benéficas en cultivo de tomate, encontrando que el género más abundante en la rizósfera era *Azospirrillum* y que su inoculación artificial tiene un efecto positivo ya que aumenta el tamaño y el estado nutricional de la planta; esos autores obtuvieron un rendimiento de un 11% más comparado con el testigo sin inocular.
Núñez-Sosa *et al*. (2005) evaluaron la utilización de *Azospirillum* y *Glomus fasciculatum* en el cultivo de zanahoria a diferentes concentraciones de materia orgánica, obtuvieron los mejores rendimientos en la coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus fasciculatum,* y la inoculación simple de *Glomusfas ciculatum.*

Terry y Leyva (2006) mencionaron que algunos beneficios en el desarrollo de las plantas atribuidas a los hongos micorrizas realmente provienen de la combinación con bacterias, por lo que evaluó *Glomus clarum y Azospirillum brasilense*. En tomate variedad “Amalia” inoculó al momento de la siembra para almacigo, en inoculación simple y en coinoculación, ambos microorganismos, con diferentes concentraciones de fertilización nitrogenada,

encontrando mejores resultados en el tamaño de la planta a partir de los 31 días de la germinación, además de mayor cantidad de masa seca de las plantas, mayores contenidos de proteínas solubles y mayor rendimiento, por lo que consideraron a la coinoculación como una alternativa para mantener un estado nutrimental adecuado de las plantas y para sustituir la fertilización nitrogenada.

Santillana (2006) evaluó tres tipos de cepas de *Pseudomona s*sp. Como inoculantes en diferentes cultivos bajo condiciones de invernadero, entre ellos la papa y el tomate. También encontró que en ambos cultivos no se encontraron diferencias significativas en el uso de cada una de las cepas, con relación al peso seco de la parte aérea; sin embargo, sí encontró una diferencia en el desarrollo radicular, comparado con el testigo sin inocular.
Alvarez *et al*. (2008) Evaluaron la utilización de *Glomus fasciculatum* en un suelo de clasificación cambisol crómico combinado con diferentes niveles de fertilización, donde encontró mayores rendimientos al emplear *Glomus fasiculantun* a niveles de fertilización de 150, 240 y 125 kg/ha de N, P_2O^5 y K_2O, respectivamente, al compararlos con una inculación sin fertilización, otras concentraciones de fertilización y un testigo sin inocular ni fertilizar.

Bojorquez *et al.* (2009) evaluaron en tomate la producción de biomasa en peso seco de follaje de plántula, se encontró que las cepas nativas de *B. subtilis* son eficientes para la obtención de plántulas de tomate con calidad, reduciendo en 50% la fertilización sintética. Salazar (2011) planteó como una alternativa utilizar el hongo micorrízico *Claroideo gomus claroideum* y un sustrato elaborado a base de polvo de fibra de coco, composta de estiércol de bobino, cascarilla de arroz, harina de pescado, composta de cachaza de caña de azúcar, dolomita, roca fosfórica y levadura de cerveza, para mejorar el rendimiento y la vida de anaquel del jitomate, ya que obtuvo un desarrollo normal de la planta sin la adición de un fertilizante químico. Coutinho *et al.* (2012) señalan que el género *Penicillium sp.* ha sido ampliamente estudiado por su habilidad de solubilizar el fósforo que permite aumentar la disponibilidad de P unido a Ca, Fe y Al para los cultivos.

2.13 Generalidades del cultivo de tomate

2.13.1 Origen

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero fue en México donde se domesticó. Los españoles y portugueses difundieron el tomate en Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. Se trata de un fruto de la familia de las Solanáceas que comprende unas 2300 especies de plantas americanas productoras de alcaloides. Son pocas las solanáceas comestibles, entre ellas el tomate, el pimiento, la berenjena y la patata, de gran relevancia en la alimentación humana (Cáceres, 1984).

2.13.2 Taxonomía y características de la planta

El tomate pertenece al género *Solanum* de la familia *Solanaceae*, al igual que la papa (*Solanum tuberosum L.*) y la berenjena (*Solanum melongena L.*). La especie de tomate se ha clasificado como *Lycopersicon esculentum Mill.*, sin embargo en los últimos años se sugiere el cambio a *Solanum lycopersicum* (Benton, 2008; Asamizu *et al.*, 2009).

Es una planta de tipo arbustivo que se cultiva como anual, que puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta, con variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas), el sistema radicular consta de una raíz principal corta y débil (pivotante) y raíces secundarias o adventicias muy numerosas y potentes, el tallo principal es un eje con un grosor que oscila entre los 2 y 4 cm en su base, en el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Las hojas son compuestas de foliolos peciolados, lobulados y de borde dentado, generalmente en número de 7 a 9 y recubiertas de pelos glandulares. Las hojas se distribuyen de forma alternada sobre el tallo.
La flor es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos y de igual número de pétalos de color amarillo. El fruto es una baya, bi o plurilocular que puede alcanzar un peso

que oscila entre unos pocos mg hasta unos 600 g. por pieza y está constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Castilla-Prados, 2001).

2.13.3 Crecimiento del fruto

Elevando la temperatura aumenta la velocidad de crecimiento del fruto, acelera la maduración y como resultado, el peso final medio de los frutos disminuye, (Hurd *et al.*, 1985; Sawhney *et al.*, 1985).

El tiempo de maduración del fruto es dependiente de la temperatura, en otros órganos tiene poco efecto, (Adams *et al*., 2001). Con respecto al tiempo de maduración la sensibilidad del fruto a las temperaturas varían en frutos en el estadio verde-maduro. La maduración se ve retrasada en la parte distal y proximal de los racimos.

El tamaño del fruto se relaciona con la velocidad y tiempo de crecimiento del fruto. Utilizando temperaturas elevadas se puede incrementar la velocidad de crecimiento (Pearce *et al*., 1993), pero esto no significa que incrementa el tamaño final del fruto debido al efecto de la temperatura sobre la duración del crecimiento y generalmente se tienen tamaños menores.

Cuando el fruto se desarrolla a temperaturas diurnas de 26 ºC y 14 ºC, hay una tendencia a formar frutos partenocárpicos que combinados con bajo número de flores y frutos más pequeños da por resultado una baja producción de frutos.

2.13.4 Labores culturales

Las prácticas culturales en tomate son semejantes en los cultivos con y sin suelo, pudiendo existir pequeñas diferencias según las características de cada sistema.

a) Poda: A un solo tallo principal, destallando los laterales. Se suprimen hojas basales conforme van envejeciendo conservando en todo caso el follaje completo en, al menos, 1.6-1.8 m hasta el ápice.

b) Entutorado: La planta se suspende mediante un hilo, sobre el que se va enrollando el tallo principal conforme ésta va creciendo. Si el cultivo es de ciclo largo el hilo no irá atado directamente al alambre portante, sino a una pieza a modo de carrete que permite soltar el hilo, lo que junto a un desplazamiento lateral, permite continuar indefinidamente con la parte productiva de la planta erguida a la misma altura.

c) Marco de plantación: Esta generalmente se hace a doble fila, separadas dos metros entre filas. La separación entre plantas en la fila varía de 0.5 a 0.66 m lo que da una densidad de 1.5 a 2 plantas/m^2.

d) Variedad: La creación constante de nuevas variedades por medio de la mejora genética tiene como principal objetivo mejorar distintos aspectos fundamentales como que el porte de la planta sea abierto, de alta productividad, precoz, alta calidad externa e interna del fruto, adaptable a condiciones ambientales de estrés y de los sistemas de cultivo, que sea resistente a plagas y enfermedades (Fernández *et al.,* 1992).

e) Control de plagas y enfermedades: en general, el control de plagas y enfermedades del cultivo de tomate en cultivo sin suelo, se puede realizar, utilizando control biológico o químico, aunque lo recomendable es que con la realización de buenas prácticas culturales, se realice un buen control preventivo. Las plagas y enfermedades se controlan mejor en los invernaderos que al aire libre, ya que necesariamente hay que tratar preventivamente por lo que se puede llevar a cabo una programación para el control de todos los parásitos; la rentabilidad de los cultivos en invernadero permiten esa programación preventiva, que en cultivos al aire libre no se puede prever y en la mayoría de los casos difícil de costear. Por otra parte, los tratamientos son más efectivos. Una simple fumigación de gases en el interior del invernadero es suficiente para eliminar todas las plagas que existen en su interior.

2.14 Requerimientos del cultivo de tomate

2.14.1 Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 21 y 29.5 °C durante el día y entre 18.5 y 21 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 35 °C afectan la fructificación por mal desarrollo de óvulos, el desarrollo de la planta, en general, y del sistema radicular, en particular, además el color de la fruta se ve afectado. Temperaturas inferiores a 10 °C retardan la germinación de la semilla, inhibe el desarrollo vegetativo, reduce el amarre de frutos e impide una maduración adecuada de los frutos. (Benton, 2008; Samaniego-Cruz *et al*., 2002). La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente a la precocidad y coloración, no obstante, se deben tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos ya que esta afectará la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos y reguladores del crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000).

2.14.2 Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre 60% y 80%; humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades del follaje y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad del suelo o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativamente baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor, mientras que una humedad relativa alta causará enfermedades fungosas en el cultivo (Benton, 2008).

2.14.3 Luminosidad

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración y fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta, en los momentos

críticos, durante el período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. Las plantas son organismos que carecen de movilidad, por lo que desarrollan una serie de adaptaciones en el tamaño, composición y eficiencia de los sistemas de captura de radiación que compensan las variaciones en la disponibilidad de energía solar (Geiger *et al.,* 1994). La adaptación se consigue por la acción conjunta de diferentes foto receptores como clorofilas, carotenoides y fitocromos, con los cuales la planta percibe las características de la radiación como duración, intensidad, dirección y calidad espectral (Smith, 1995).

2.14.4 Suelo

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere a drenaje ya que prefiere suelos sueltos, de textura sílica o arcillosa similares a los suelos neoleoneses (específicamente el área donde se llevó a cabo este trabajo de investigación) y ricos en materia orgánica, se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados.
En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos. El tomate es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad, tanto del suelo como del agua de riego (Castilla-Prados, 2001).

2.15 Importancia mundial del tomate

La importancia del tomate a nivel mundial radica en su amplia diversidad de usos que tiene en la alimentación de prácticamente todos los grupos de población humana quienes lo utilizan como componente principal de muchas comidas, para agregar o añadir sabor o para ser utilizado en fresco, en salsas, purés, pastas, jugos, etc., (Ocaña, 2004). Esta amplia demanda quizá se deba también al amplio rango de climas, y sistemas de cultivo donde puede producirse, ya que puede ser cultivado tanto en climas fríos como tropicales (Bringas, 2004), así como a cielo abierto o en invernaderos (Atherton *et al.,* 1996). Esto le ha dado un alto valor comercial, que genera sus altos volúmenes de producción y consumo. Adicionalmente, el tomate también ha recibido mucha atención científica ya que esta planta

se ha utilizado como un modelo para realizar diferentes investigaciones genéticas, fisiológicas y patológicas (Atherton *et al.*, 1996).

2.16 Mercado nacional y estatal

El tomate rojo es el principal producto en términos del valor de la producción en el grupo de las hortalizas que se cultivan en México. En 2012, éste ascendió a 13,146 millones de pesos, monto que representó el 27.2% del valor de la producción de las hortalizas y el 3.2% del total del valor de la producción agrícola primaria en el país.

Asimismo, ocupa el primer lugar entre los productos agropecuarios en la generación de divisas por ventas al exterior. En 2013, reportó exportaciones por 1,780 millones de dólares, valor equivalente al 15.7 % del total de las exportaciones agropecuarias mexicanas (FIRA, 2014).

2.17 Producción primaria

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie establecida para el cultivo de tomate en México registra una tendencia decreciente en los últimos doce años, período en el cual disminuyó a una tasa media anual de 2.5 %. En 1980 se sembraron 85,500 hectáreas, en 2000 se sembró un área de 75,900 hectáreas y en 2012 cerca de 55,900 hectáreas, (Figura 1).

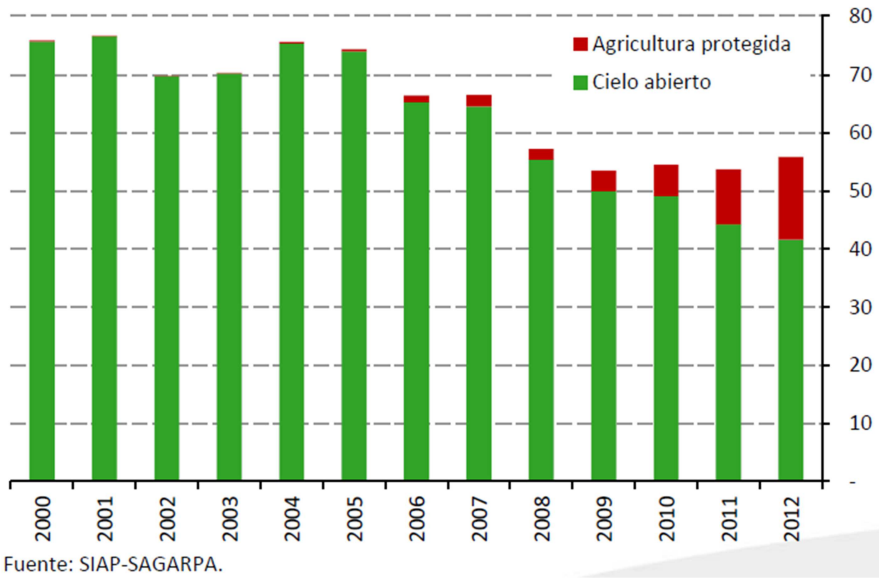


Figura 1.- Superficie cosechada de tomate rojo, 2000 – 2012 (miles de hectáreas)

Sin embargo, es importante considerar que la tendencia a la baja en la superficie sembrada de tomate se deriva del decremento en la superficie dedicada al cultivo a cielo abierto y al incremento en el cultivo en condiciones de agricultura protegida, como malla sombra e invernaderos. Así, la superficie para producir tomate con agricultura protegida se incrementó sustancialmente en los últimos años, pasando de 248 hectáreas en 2000, a 1,973 hectáreas en 2007 y a 14,321 hectáreas en 2012 (FIRA, 2014).

Debido a las ventajas que presenta la agricultura protegida con respecto a la producción a cielo abierto, los productores de tomate comenzaron a incorporar estas tecnologías a partir de 1999. Lo anterior, buscando obtener mejores niveles de rentabilidad en la producción que se destina al mercado de exportación, principalmente. El nivel tecnológico de los invernaderos es muy variable, toda vez que las condiciones climáticas determinan el tipo de tecnología requerida. Asimismo, las tecnologías de agricultura protegida difieren entre regiones geográficas y tamaño de las unidades de producción. En general, los productores de Sinaloa, Baja California y Sonora, así como de algunas regiones del centro del país como Querétaro y Estado de México, tienen mayores avances tecnológicos en agricultura protegida, estos últimos con la ventaja de producir a lo largo de todo el año, mientras que los estados del noroeste producen principalmente durante la época de invierno (FIRA, 2014).

La producción de tomate en México creció a una tasa media anual de 2.6 % entre 2000 y 2012, para alcanzar en este último año un volumen de 2.84 millones de toneladas. El 57.8 % de la cosecha se obtuvo en el ciclo otoño-invierno y el 42.2 % en el ciclo primavera-verano.

Durante la última década, el volumen de tomate obtenido en condiciones de agricultura protegida ha ido aumentado, de tal manera que pasó del 1.2 % en 2000 a 45.5% en 2011. En 2012, por primera ocasión, el volumen de tomate obtenido en superficies con malla sombra y en invernaderos (56.6%) superó al obtenido en cultivo a cielo abierto (43.4 %), (Figura 2).

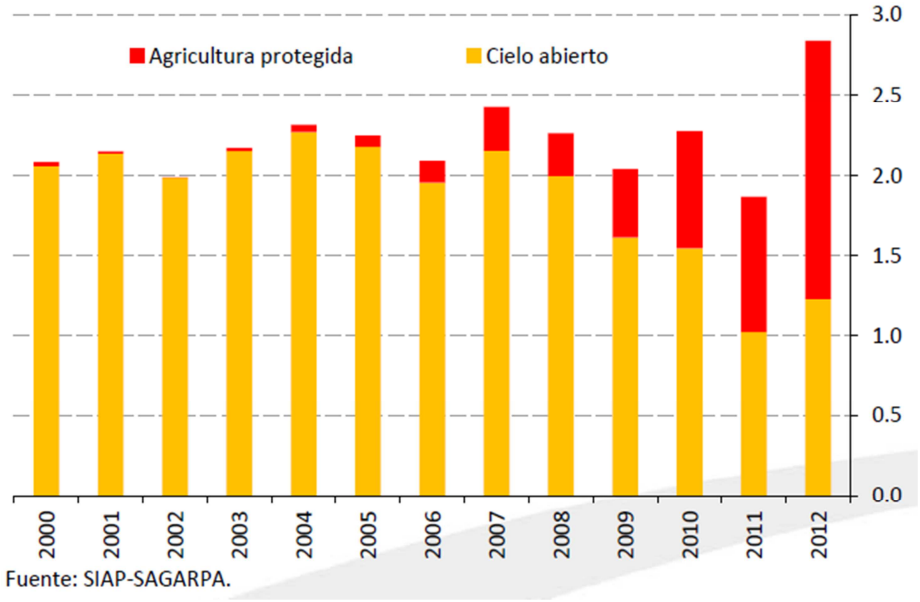


Figura 2.- Producción de tomate rojo por tipo de tecnología (millones de toneladas)

En México, el uso de tecnologías de agricultura protegida se aplica en una superficie cada vez mayor, principalmente en los estados cuya producción está orientada al mercado de exportación. El área con uso de malla sombra e invernaderos se concentra en Sinaloa, Baja California y Jalisco. También se ha incrementado el cultivo en invernaderos y con malla sombra en Michoacán, San Luis Potosí, Baja California Sur, Coahuila y Guanajuato (FIRA, 2014).

En Guanajuato, en el año 2015, la superficie sembrada fue de 907.39 hectáreas, con una producción de 93,447.10 toneladas, y obteniendo un promedio de rendimiento de 105.84 t/ha (SIAP, 2015).

2.18 Estrategias para incrementar los rendimientos agrícolas

El desarrollo y la difusión de nuevas tecnologías son factores importantes que determinarán el futuro de la agricultura. Durante muchos años, los seres humanos se han dedicado a mejorar la producción agropecuaria. A lo largo de los últimos 150 años, los científicos han ayudado con sus esfuerzos a desarrollar y refinar las técnicas de selección y mejoramiento. Aunque se han conseguido progresos considerables, la selección y mejoramiento convencionales exigen mucho tiempo y están sujetas a limitaciones técnicas.

La moderna biotecnología tiene el potencial necesario para acelerar el desarrollo y la distribución de una mejor producción agropecuaria. La selección asistida por marcadores, por ejemplo, aumenta la eficacia del fitomejoramiento convencional, lo que permite un análisis en laboratorio rápido de miles de individuos, sin necesidad de cultivar plantas hasta su maduración en el campo. Las técnicas de cultivo de tejidos permiten la rápida multiplicación de materiales de plantación limpios de especies propagadas a nivel vegetal para su distribución entre los agricultores. La ingeniería o modificación genética (manipulación del genoma de un organismo mediante la introducción o eliminación de genes específicos) ayuda a transferir características deseadas entre plantas con mayor rapidez y precisión, de la que es posible con el fitomejoramiento convencional.

La fitogenética promete proporcionar beneficios considerables, pero también suscita preocupaciones muy difundidas entre el público. Entre éstas se encuentran recelos éticos, inquietudes relacionadas con la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente y temores acerca de la concentración del poder económico y la dependencia tecnológica, que podrían profundizar la brecha entre los países desarrollados y los países en desarrollo.

La difusión de cultivos modificados genéticamente (MG) ha sido rápida. La superficie cubierta por ellos se multiplicó por 30 en el período de cinco años hasta 2001, y ya habían cubierto más de 52 millones de ha. En algunos países en desarrollo se están haciendo muchas investigaciones para desarrollar más variedades MG. Por ejemplo, se informa de que China tiene la mayor capacidad de investigación en biotecnología después de los Estados Unidos de América.

Sin embargo, la difusión hasta la fecha está muy limitada geográficamente. Sólo cuatro países representan el 99 por ciento de la superficie mundial de cultivos MG: los Estados Unidos de América con 35,7 millones de ha, Argentina con 11,8, Canadá con 3,2 y China con 1,5. El número y tipo de cultivos y aplicaciones afectados también es limitado. Dos terceras partes de la superficie de cultivos MG está plantada con cultivos tolerantes a los herbicidas. Todos los cultivos MG explotados comercialmente son actualmente cultivos no alimentarios (algodón) o se utilizan en gran parte para piensos (soja y maíz), (FAO, 2015).

A nivel mundial, la producción agropecuaria podría satisfacer probablemente la demanda esperada en el período hasta 2030, incluso sin avances importantes en biotecnología. Sin embargo, la biotecnología puede ser una importante herramienta en la lucha contra el hambre y la pobreza, especialmente en los países en desarrollo. Debido a que puede proporcionar soluciones en los casos en los que enfoques de mejoramiento convencionales han fallado, puede ser una gran ayuda en el desarrollo de variedades de cultivos capaces de sobrevivir en entornos difíciles en los que gran parte de la población pobre del mundo vive y se dedica a la agricultura. Ya se han conseguido algunos resultados prometedores en el desarrollo de variedades con características complejas como resistencia o tolerancia a la sequía, a la salinidad del suelo, a plagas y a enfermedades, lo que ha ayudado a reducir las cosechas perdidas. Varias aplicaciones permiten a los agricultores de escasos recursos reducir el uso de insumos comprados como plaguicidas o fertilizantes, con ventajas para el medio ambiente y la salud humana, así como para los ingresos de los agricultores.

La mayoría de la biotecnología la genera y controlan grandes empresas privadas, que hasta ahora han dirigido sus trabajos a agricultores comerciales que pueden permitirse comprar

sus productos. No obstante, se están haciendo algunos trabajos en el sector público dirigidos a cubrir las necesidades de los agricultores escasos de recursos. Además, la mayoría de las tecnologías y productos intermedios desarrollados a través de la investigación del sector privado, pueden adaptarse para solucionar problemas prioritarios en los países en desarrollo. Para que los pobres de estos países se beneficien de este potencial, se necesitan medidas a nivel nacional e internacional a fin de fomentar asociaciones entre los sectores privado y público capaces de fomentar el acceso a estas tecnologías a precios asequibles. Este es el principal reto político para el futuro (FAO, 2015).

2.19 Agricultura sin labranza/de conservación

Los efectos negativos que la labranza del suelo puede tener sobre los procesos biológicos y, por tanto, sobre la productividad, ha ganado cada vez más reconocimiento. Como respuesta, se ha desarrollado una agricultura no labranza o agricultura de conservación (NL/AC). Esta forma de agricultura puede mantener y mejorar los rendimientos de los cultivos, proporcionando mayor resistencia contra la sequía y otros problemas.

Al igual que el cultivo orgánico, la agricultura NL/AC mantiene la biodiversidad y permite ahorrar recursos. Sin embargo, a diferencia de la agricultura orgánica, se puede combinar con insumos sintéticos y cultivos MG. En ella intervienen tres elementos principales:

- Alteración mínima del suelo. No hay labranza y los cultivos se plantan directamente a través de la cubierta del suelo. Además de reducir la pérdida de nutrientes a la atmósfera, esto ayuda a mantener la estructura del suelo y la ecología.
- Mantenimiento de una cubierta permanente de material formado por vegetales vivos o muertos. Esto protege el suelo contra la erosión y la compactación por las precipitaciones e inhibe el crecimiento de malas hierbas.
- Rotación de cultivos. A lo largo de varias estaciones se plantan distintos cultivos con objeto de evitar la acumulación de plagas y enfermedades y optimizar el uso de nutrientes.

La agricultura NL/AC puede aumentar el rendimiento de los cultivos del 20 al 50 por ciento. Los rendimientos varían menos de un año otro, mientras que los costos de mano de obra y combustible son menores. Una vez que se ha mostrado a los agricultores de un lugar determinado en qué consiste, la agricultura NL/AC tiende a extenderse espontáneamente en una zona mayor. Los principales obstáculos para su difusión son la complejidad de gestionar la rotación de cultivos, los costos de transición a nuevos procedimientos y, en cierta medida, el conservadurismo de los servicios de extensión agraria. Para acelerar el ritmo de adopción, puede ser necesario impartir nueva formación, combinado a veces con mayores incentivos económicos (FAO, 2015).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localidad

Las capacitaciones sobre el manejo del cultivo se llevaron a cabo en el Centro de Biotecnología de la empresa Biokrone, S.A de C.V., ubicado en rancho Santa Rosa,S/N, Apaseo el Grande Guanajuato.

Los experimentos se llevaron a cabo en las instalaciones del invernadero tipo túnel de baja tecnología con una superficie de 100 m^2 propiedad de la Universidad Politécnica de Guanajuato y se encuentra ubicado en Avenida Universidad Norte # 1001, localidad Juan Alonso, de Cortázar Guanajuato.

El tipo de suelo en esta área es un suelo tipo franco arcilloso, con un pH moderadamente alcalino, de textura media, libre de carbonatos, bajo en sales, con un contenido moderadamente bajo de materia orgánica, presenta muy baja conductividad hidráulica, muy alto suministro de fosforo disponible, con un suministro moderado de nitrógeno inorgánico, presenta alto nivel de sodicidad, en cuanto a la disponibilidad de micronutrientes el suministro de zinc es elevado y el contenido de manganeso es moderadamente bajo.

Para cubrir los objetivos e hipótesis planteada se desarrollaron dos experimentos: el experimento 1 se realizó en la época primavera – verano del año 2015 en el cual se evaluó el efecto de 10 mezclas de productos biorracionales en combinación con 4 diferentes dosis de fertilización convencional sobre las características físicas de las plantas de tomate saladette, la calidad del fruto y la producción del tomate saladette. En el experimento 2 se realizó en la época otoño – invierno del año 2015 en el cual se evaluó el efecto de 10 mezclas de productos biorracionales ya con el mejor nivel de fertilización obtenido en el experimento 1.

3.2 Experimento (primavera – verano)

3.2.1 Material utilizado en el experimento (primavera – verano)

El material biológico utilizado fue una plántula de tomate saladette de crecimiento determinado, la semilla utilizada fue variedad Catia de la casa semillera Hazera seeds, las cuales estaban libres de plagas y enfermedades, con una altura de 15 a 18 centímetros con todo y cepellón y teniendo 45 días de germinadas.

La densidad de planta con la que se trabajó el experimento 1 fue de 3 plantas m^2, teniendo una distancia entre ellas de 35 cm y una distancia de 80 cm de surco a surco, dando un total de 180 plantas para este trabajo.

Para las formulaciones químicas de las diferentes dosis de fertilización, se realizó primero un estudio de suelo (Figura 3) y un estudio de agua (Figura 4), y a partir del método Steiner y tomando como base la fertilización convencional de la región la cual fue la dosis del 100 % se realizaron las demás dosis de fertilización las cuales fueron 75%, 50%, 25% y 0%.

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Roberto Moreno		
No. de Registro	SU-34087	Cultivo Anterior	Tomate Determinado
Fecha de Recepción	18/02/2015	Cultivo a Establecer	Tomate Determinado
Fecha de Entrega	20/02/2015	Tipo de Abono Organico	N/A
Rancho o Empresa	Comunidad Juan Alonso	Tipo de Agricultura	Riego
Municipio	Cortazar	Manejo de Residuos	Ninguno
Estado	Guanajuato	Meta de Rendimiento	N/A
Identificación	Universidad Politecnica De Guanajuato	Prof. Muestra	31-60 cm

Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural	Franco Arcilloso		
Punto de Saturación	46.0	%	Mod. Alto
Capacidad de Campo	24.5	%	Mod. Alto
Punto March. Perm.	14.6	%	Mod. Alto
Cond. Hidráulica	1.55	cm/hr	Bajo
Dens. Aparente	1.25	g/cm3	

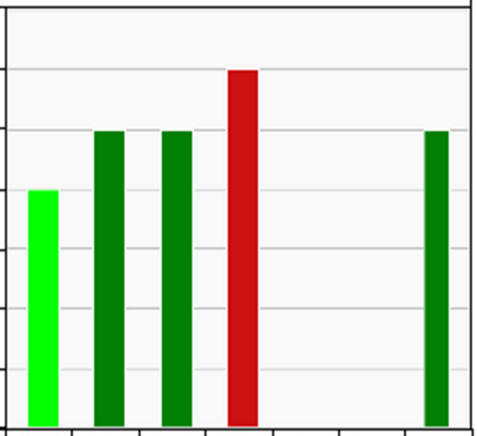
Reacción del Suelo Necesidades de Yeso y Cal Agrícola

pH (1.2 agua)	7.63		Mod. alcalino
pH Buffer	ND		
Carbonatos Totales (%)	2.17	%	Bajo
Salinidad (CE Extracto)	1.55	ds/m	Mediano
Requerimientos de Yeso	4.61		Ton/Ha
Requerimientos de Cal	No Requiere		

Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	1.35	%							
P-Bray	95.8	ppm							
K	550	ppm							
Ca	3470	ppm							
Mg	600	ppm							
Na *	633	ppm							
Fe	11.5	ppm							
Zn	22.1	ppm							
Mn	5.53	ppm							
Cu	1.05	ppm							
B	1.17	ppm							
S	70.0	ppm							
N-NO3	38.5	ppm							

Cationes Intercambiables
Gráfico Basado en % de Saturación



Catión	Ca	Mg	K	Na*	Al*	H*	CIC
% Sat	65.5	18.7	5.34	10.4	ND	ND	—
meq/100g	17.3	4.94	1.41	2.75	ND	ND	26.4

Relacion Entre Cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	12.3	3.50	15.8	3.50
Interpretación	Mediano	Alto	Bajo	Mediano

Figura 3. Resultados del análisis de suelo.

ANÁLISIS DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Roberto Moreno		
No. de Registro	AG-5932	Cultivo a Establecer	Tomate Determinado (Cultivos de Alta Demanda)
Rancho o Empresa	Comunidad Juan Alonso	Fuente de Agua	N/A
Municipio	Cortazar	Fecha de Recepción	18/02/2015
Estado	Guanajuato	Fecha de Entrega	20/02/2015
Identificación	Universidad Politecnica De Guanajuato		

Características Generales de Salinidad / Sodicidad

Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Cond. Electrica	CE	dS/m	0.65							
pH	pH	-	7.03							
Rel. Ads Sodio	RAS	-	6.29							
Rel. Ads Sodio Aj	RASaj	-	6.96							

Cationes

Determinación	Abreviatura	Unidades mel	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Calcio	Ca	0.94	18.8							
Magnesio	Mg	0.37	4.44							
Sodio	Na	5.09	117							
Potasio	K	0.32	12.5							
Suma de Cationes	-	**6.72**	**153**							

Aniones

Determinación	Abreviatura	Unidades mel	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Sulfatos	SO4	0.98	47.1							
Bicarbonatos	HCO3	4.30	262							
Cloruros	Cl	0.92	32.2							
Carbonatos	CO3	0.00	0.00							
Nitratos	N-NO3	0.18	2.52							
Suma de Aniones	-	**6.38**	**344**							

Determinaciones Especiales

Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Boro	B	ppm	0.33							
Fierro	Fe	ppm	ND							
Manganeso	Mn	ppm	ND							
Cobre	Cu	ppm	ND							
Zinc	Zn	ppm	ND							

Figura 4. Resultados del análisis de agua.

El método Steiner consiste en realizar un balance de cationes y aniones de los elementos químicos a utilizar, (Tabla 2), a partir de los resultados de los análisis de suelo y agua algunas de las recomendaciones que se dan para realizar este método son que se deben de checar en la tabla que estén bien organizados los cationes y aniones en las columnas y las fuentes den las filas, siempre comenzar ajustando el calcio, neutralizar el HCO_3 con ácidos hasta dejarlos como máximo entre 1.5 – 2 meq/L, completar los macros nutrientes que

faltan comenzando con el nitrógeno, cubrir el magnesio como sulfato de magnesio, completar los sulfatos, y en los ajustes se puede exceder un máximo 1 meq de nitrógeno, fosforó, potasio, y nunca superar los niveles de sodio, cloro, bicarbonatos y sulfatos.

Tabla 2.- Balance para la preparación de la solución nutritiva.

Preparación de la solución nutritiva														
		Aniones					**Cationes**							
		NO_3^-	**$H_2PO_4^-$**	**SO_4^{2-}**	**HCO_3^-**	**Cr**	**NH_4^+**	**K^+**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**Na^+**	**pH**	**CE**	
Sol. Nutritiva		12.0	1.5	8.0	1.5	0.0	0.5	8.0	9.0	4.0				
Agua		0.0	0.0	1.6	5.0	1.1	0.0	0.3	2.1	1.2				
Aportes	**meq L^{-1}**	12.0	1.5	6.4	-3.5	-1.1	0.5	7.7	6.9	2.8	0.0			**CE Goteo**
$Ca(NO_3)_2H_2O$	6.9	6.9					0.4		6.9					3.5
H_3PO_4	1.5		1.5		-1.5									
HNO_3		0.0			0.0									
H_2SO_4	2.0			2.0	-2.0									
KNO_3	5.1	5.1						5.1						
K_2SO_4	2.6			2.6				2.6						
$MgSO_47H_2O$	2.8			2.8						2.8				
NH_4NO_3		0.0					0.0							
KH_2PO_4			0.0					0.0						
$NH_4H_2PO_4$			0.0				0.0							
$Mg(NO_3)_26H_2O$		0.0								0.0				
KCl						0.0		0.0						
A portes meq L^{-1}		12.0	1.5	7.4	0.0	0.0	0.4	7.7	6.9	2.8	0.0			

3.2.2 Programa de riegos de los tratamientos

El riego se realizó de manera manual suministrando de 0.3 a 2 litros por planta diarios, variando gradualmente desde trasplante a cosecha dependiendo de estado fenológico de la planta así como del clima, (Tabla 3). La demanda hídrica diaria se dividió en tres riegos al día. La solución nutritiva fue diferente en cada surco dependiendo del nivel de fertilización, y de la etapa fenológica de la planta, (Tabla 4)

Tabla 3.- Demanda hídrica, durante el ciclo de producción.

Semanas después del trasplante	Demanda hídrica, ml/planta/día	Frecuencia de riego
2	300 – 350	Cada 4 días
3	400 – 500	Cada 3 días
4	550 – 600	Cada 3 días
5	600 – 800	Cada 2 días
6	800 – 1000	Cada 2 días
7	1000 – 1200	Diariamente
8	1200 – 1400	Diariamente
>9	1400 – 1600	Diariamente

Tabla 4.- Solución nutritiva a aplicar durante el ciclo de producción dependiendo de la etapa fenológica de la planta.

Fertilizante	Desarrollo vegetativo	Floración	Llenado de frutos	Cosecha
HNO_3	17.7 ml	17.7 ml	17.7 ml	17.7 ml
H_3PO_4	4.9 ml	4.9 ml	6.5 ml	6.5 ml
$Ca(NO_3)$	43 g	58 g	67 g	72 g
KNO_3	8.1 g	8.1 g	11.1 g	20.2 g
K_2SO_4	29.6 g	42.6 g	47 g	50 g
$MgSO_4$	32 g	50.4 g	57.8 g	57.8 g
$NH_4H_2PO_4$	2.3 g	10.4 g	10.4 g	10.4 g
Micro nutrientes	3.5 g	3.5 g	3 g	3.g

3.2.3 Diseño Experimental experimento (primavera – verano)

El diseño experimental mediante el cual se desarrolló el experimento para determinar el número de mezclas fue un diseño de mezclas simplex reticular (3,2) aumentado, con 3 réplicas dando como resultado 10 mezclas a evaluar, en el cual también se colocaron 2 testigos, de los cuales uno era un testigo de producción (fertilización convencional al 100 %) y el otro fue un testigo absoluto (agua), Tabla 5

Tabla 5.- Mezclas de los tratamientos a utilizar en el experimento.

Tratamiento / Biorracional	Glumix	Natucontrol	AZ Seed
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0.5	0.5	0
5	0.5	0	0.5
6	0	0.5	0.5
7	0.333	0.333	0.333
8	0.667	0.167	0.167
9	0.167	0.667	0.167
10	0.167	0.167	0.667
Testigo de producción	Fertilización mineral y sin inocular		
Testigo absoluto	Sin fertilización mineral y sin inocular		

El diseño experimental mediante el cual se desarrolló el experimento para determinar la interacción entre los niveles de fertilización química y las mezclas fue un diseño de bloques, donde las mezclas eran los tratamientos (Glumix, Natucontrol, AZ Seed) y los bloques fueron los niveles de fertilización (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Figura 5

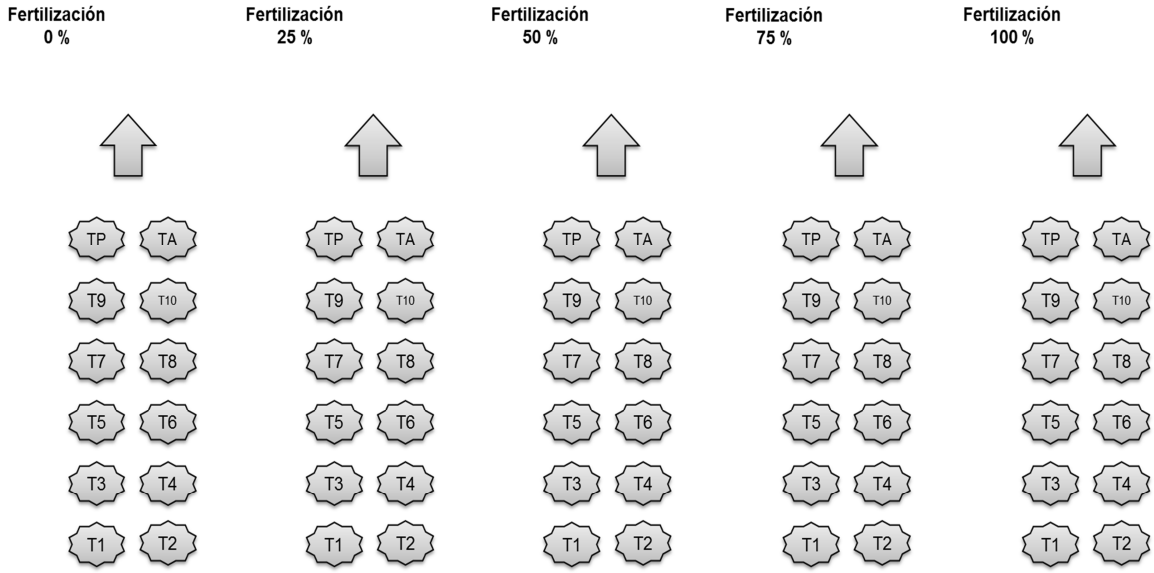


Figura 5.- Distribución de los tratamientos y de los niveles de fertilización.

3.2.4 Proporciones de los productos biorracionales

Para obtener la cantidad adecuada de los diferentes productos biorracionales se checo las etiquetas de los mismos de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
Después se realizó un ajuste de área, pasando de hectárea a m^2 para saber la cantidad a utilizar de cada producto, (Tabla 6).

Tabla 6.- Concentraciones iníciales de los productos biorracionales

Glumix	Natucontrol	AZ Seed
250 g/L	4 g/L	5 g/L

Las concentraciones anteriores fueron las iníciales (100 %), a partir de estas concentraciones, se aplicó la fórmula de dilución para obtener el resto de las dosis a aplicar de cada uno de los productos biorracionales (Glumix, Natucontrol, AZ Seed).

En matraces aforados de un litro se prepararon las distintas dosis de los productos biorracionales (Tabla 7), la primera que se preparo fue la solución concentrada o madre (100 %) para después de esta poder tomar los mililitros adecuados dependiendo de la concentración a realizar y después se aforo con agua destilada hasta la marca de un litro, y así sucesivamente (Figura 6). Después las soluciones se vaciaron a un vaso de precipitado para poder agitarlas y homogeneizarlas en su totalidad.

Figura 6.- Diluciones de los productos biorracionales.

Una vez que se tuvieron todas las diferentes dosis de productos biorracionales se realizó la inoculación a cada una de las plantas (Figura 7), para el caso del producto biorracional llamado Natucontrol la inoculación se llevó a cabo por medio de sumergir el cepellón por un lapso de 10 a 15 segundos en las diferentes soluciones para el caso de los productos biorracionales restantes Glumix y AZ Seed la inoculación fue directa a la raíz con la ayuda de una jeringa colocando 4.5 ml de cada dosis dependiendo el tratamiento.

Figura 7.- Inoculación a las plantas con los productos biorracionales.

Tabla 7.- Diluciones de los productos biorracionales

Concentración	ml tomados de la solución al 100 %
100 %	
66.7 %	667 ml
50 %	500 ml
33.3 %	333 ml
16.7 %	167 ml

3.2.5 Tratamientos evaluados en el experimento (primavera-verano)

Los tratamientos que se evaluaron en el experimento 1 se describen a continuación (Tabla 8), en donde se menciona el nombre común del producto biorracional, la dosis a la cual se preparó la solución, la forma y cantidad de inoculación de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Tabla 8.- Tratamientos evaluados

Tratamiento	Producto biorracional	Dosis de la solución	Forma y cantidad de inoculación
T1	Glumix	100 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
T2	Natucontrol	100 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta.
T3	AZ Seed	100 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
T4	Glumix	50 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
	Natucontrol	50 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta.
T5	Glumix	50 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
	AZ Seed	50 %	
T6	Natucontrol	50 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta.
	AZ Seed	50 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
T7	Glumix	33.33 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
	Natucontrol	33.33 %	
	AZ Seed	33.33 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta
T8	Glumix	66.7 %	4.5 ml, inoculación directa a la raíz.
	Natucontrol	16.7 %	

	AZ Seed	16.7 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta
T9	Glumix	16.7 %	4.5 ml, inoculación
	Natucontrol	66.7 %	directa a la raíz.
	AZ Seed	16.7 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta
T10	Glumix	16.7 %	4.5 ml, inoculación
	Natucontrol	16.7 %	directa a la raíz.
	AZ Seed	66.7 %	Sumergir durante 10 a 15 segundos el cepellón de la planta
TA	No se inocula, ni se fertiliza, solamente es riego con agua natural		
TP	No se inocula, solo lleva fertilización convencional al 100 %		

El trasplante se llevó a cabo el 13 de febrero del 2015, en cinco surcos de 8.20 metros de largo a doble hilera con una distancia entre plantas de 35 centímetros y 80 centímetros entre surcos de centro a centro, (Figura 8).

Figura 8.- Marco de plantación.

3.2.6 Ficha técnica de los productos utilizados en el experimento (primavera – verano)

En la Tabla 9, se observa la descripción e ingredientes de los productos biorracionales que se utilizaron durante este experimento.

Tabla 9.- Descripción de los productos biorracionales.

Producto	Descripción	Ingredientes
Glumix	Inoculante y mejorador de suelo. Asimilación de fósforo y otros nutrimentos, además de proporcionar resistencia a las plantas bajo condiciones de estrés por sequía, salinidad, heladas, exceso de lluvias y mayor tolerancia a enfermedades.	Esporas de hongos endomicorrízicos (VAM)……..0.15% *Glomus fasciculatum* *Glomus constrictum* *Glomus tortuosum* *Glomus geosporum* *Glomus intraradices* Equivalente a 3000 esporas/kg Calcio ……. 8% Hierro ……..… 0.05% Inertes …… 91.8%
Natucontrol	Fungicida polvo humectante. Protección a los cultivos contra enfermedades radiculares causadas por hongos fitopatógenos.	*Trichoderma harzianum*…… 1.15% (Equivalente a 11.5 gramos de I.A./kg) Contenido no menos de 1.0 x 10 UFC por gramo de peso seco. Ingredientes Inertes:

		Vehículo…….. 98.85%
AZ Seed	Inoculante y bioactivador radicular. Consorcio de bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno y metabolitos naturales que promueven el crecimiento radicular de las plantas.	*Azospirillum brasilense*…….1x10^8 UFC/g *Azotobacter sp*…… 1x10^8 UFC/g *Rhizobiumssp*……. 1x10^8 UFC/g *Bacillus sp*……1x10^8 UFC/g Enraizadores naturales (AIA) ….1000 ppm

3.2.7 Variables evaluadas en el experimento (primavera – verano)

Para la comparación de los tratamientos se tomaron las medidas por triplicado. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

- Altura de planta
- Fisiopatías
- Etapas fenológicas de la planta
- Peso radicular
- Número de lóculos
- ° Brix
- Número de frutos
- Peso promedio de frutos
- Rendimiento total

Los datos obtenidos de los experimentos fueron analizados en el paquete estadístico Minitab versión 16 y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey.

3.2.8 Programa de aplicaciones de los tratamientos experimento (primavera – verano)

De acuerdo a especificaciones del fabricante se inoculó en tres ocasiones en un intervalo de separación de 20 días, para la primera inoculación con el producto biorracional natucontrol se realizó sumergiendo el cepellón de la planta en la solución, en la segunda y tercera inoculación ya fueron directamente a la raíz, para los dos productos biorracionales restantes las tres inoculaciones fueron directas a la raíz.

Primera aplicación: 12 de febrero del 2015 para el natucontrol y 13 de febrero del 2015 para glumix y AZ Seed.
Segunda aplicación: 5 de marzo del 2015.
Tercera aplicación: 25 de marzo del 2015.

3.2.9 Labores culturales del experimento

Estas fueron realizadas de acuerdo a lo descrito por (Fernández *et al.*, 1992).

- Tutoreo

Consistió en la colocación de anillos en la parte inferior del tallo de la planta de tomate, en los cuales se colocó un tramo de rafia para poder ir guiando la planta para que tuviera un crecimiento vertical, con la finalidad de evitar daño en el fruto y inocuidad del mismo. El tutoreo se realizó al sentido de las manecillas del reloj cada dos o tres hojas dejando siempre la cabeza de la planta libre para no trozarla y con esto detener su crecimiento.

- Poda

Consistió en eliminar hojas de las plantas, con el propósito de que las plantas no perdieran vigor y mejorar la calidad de los frutos. Al disminuir el área foliar se logra un buen control

de enfermedades, y se asegura una mayor precocidad en la maduración de los frutos así como una fácil recolección de los mismos.

- Deschuponado

Esta labor cultural consistió en la eliminación de brotes axilares común mente conocidos como chupones, esto se realizó con la finalidad de mejorar el desarrollo del tallo principal. Para que la planta no gastara energía en un segundo o tercer tallo. Se realizó con la mayor frecuencia posible (semanalmente en primavera-verano y cada 10-15 días en otoño-invierno). Los cortes se fueron lo más limpios posibles, para evitar la posible entrada de enfermedades, si los brotes eran pequeños se quitaban manualmente y si ya eran brotes grandes se retiraron con la ayuda de unas tijeras de poda.

- Polinización

Es el proceso por el cual una flor queda fecundada, para que este proceso ocurra debe pasar el polen del estambre al estigma, hay diferentes tipos de polinización algunos ejemplos son mecánica, anemófila y zoófila.

Para este experimento se utilizaron dos formas de polinización por las dimensiones del invernadero se utilizó una polinización anemófila (a través de corrientes de aire), y mecánica (golpeando los cables de tutoreo), siempre cuidando la temperatura y las humedades relativas dentro del invernadero ya que si se presentaban humedades relativas mayores al 85 % el polen se compacta y cuando se presentan humedades relativas menores al 50 % el polen se seca y en ambos caso no se lleva la fecundación de la flor por eso esta labor cultural se realizó con humedades relativas entre 60 – 80 %, las cuales fueron medidas con la ayuda de un termo higrómetro.

- Raleo

Esta labor cultural también es conocida con el nombre de aclareo de frutos, y consistió en la eliminación de los frutos en exceso por vía manual o con la ayuda de unas tijeras de poda, esto se realizó para tener tomates de mayor tamaño y uniformes. La poda del fruto se realizó lo más pronto posible para evitar el aumento de tamaño y así evitar la pérdida de

nutrientes y asimilados que podrían ser utilizados por la planta para llenar otros frutos de mayor calidad.
El raleo que se le realizo a la planta fue para dejar de 6 a 8 frutos, por racimo.

- Control de malezas

Se realizó el deshierbe manual, para asegurarnos de no causarles algún daño a las plantas, esta actividad fue frecuente se realizó cada 10 – 15 días, con la finalidad de tener un mayor control en plagas y que las plantas no tengan competición por nutrientes.

- Cosecha

Se realizó a partir del día 100, y solamente consistió en quitar los tomates con pigmentación roja. Durante esta labor cultural todos los frutos se etiquetaron con la finalidad de tener el número de frutos por planta así como el rendimiento por tratamiento y nivel de fertilización, los frutos se etiquetaban poniendo el número del tratamiento, el número de réplica y el nivel de fertilización.
Ejemplo:
T5, R2, 75% de fertilización

3.2.10 Monitoreo de plagas y enfermedades del experimento

Durante el tiempo que duro el experimento se realizó el monitoreo de plagas y enfermedades en las plantas de tomate, en el caso de las plagas se colocaron trampas de color amarillo cubiertas con spider plus, y se realizó un monitoreo cada tercer día, durante el primer ciclo del cultivo (primavera – verano) se encontró la presencia de mosquita blanca, y trips. Para estas plagas se realizaron varias aplicaciones de CYTRIN 200 (Cipermetrina) el cual es un insecticida piretroide de amplio espectro, que actúa por contacto e ingestión, las dosis aplicadas fueron uno a uno, a demás de las fumigaciones se realizó un cambio de trampas cada 15 días.

En el segundo ciclo del cultivo (otoño – invierno) se encontró la presencia de mosquita blanca, trips y araña roja. Para estas plagas también se realizaron aplicaciones de CYTRIN 200.

Para el monitoreo de enfermedades se llevó un chequeo por planta, esto se realizó cada tercer día, para poder detectar la enfermedad a tiempo y que no causara daños graves al cultivo.

En el ciclo primavera – verano durante los monitoreos de las plantas se detectó algunas fisiopatías por la deficiencia de algún nutriente, también se presentaron enfermedades como lo fueron cenicilla *(Oidiopsistaurica)*, botrytis (*Botrytis cinerea)*, a las cuales se combatieron con SCALA ® 60 SC, el cual es un fungicida se aplicó en concentraciones de uno a uno y con HELM BENOMIL en concentraciones de 4 g.

Para el segundo ciclo otoño – invierno se presentó botrytis (*Botrytis cinerea)*, el cual se le aplico un fungicida (SCALA ® 60 SC), en concentración de un mililitro por litro de agua.

3.3 Materiales, métodos y equipos utilizados para las variables respuestas del primer experimento (primavera – verano)

3.3.1 Altura de la planta

Las mediciones de las plantas se realizaron una vez por semana, utilizando un flexómetro, la forma para las mediciones fue de la base del tallo de la planta a ras de suelo hasta la cabeza de la planta, dichas mediciones se realizaron el mismo día de la semana para poder tener promedios de crecimiento semanal.

3.3.2 Fisiopatías y etapas fenológicas de la planta

En el caso de estas dos variables respuesta no se utilizó ningún tipo de equipo en particular, en el caso de las fisiopatías solo fue monitorear semanalmente las plantas tanto hojas, tallo,

flores y frutos. Para las etapas fenológicas de la planta solo se estuvo monitoreando las fechas en las cuales las plantas pasaban de una etapa fenológica a otra.

3.3.3 Peso radicular

Para la medición de esta variable respuesta, en el experimento 1 primavera – verano se utilizó una pala de piquete para aflojar el perímetro de las plantas de tomate, una vez que la tierra se encontraba floja con la ayuda de las tijeras de poda se realizó un corte en el tallo de la planta (todas las plantas fueron cortadas con un tallo de 5 cm del ras de suelo), cuidadosamente se fueron retirando los terrones de tierra y jalando un poco hacia arriba para poder liberar las raíces del suelo haciendo lo más lento posible para romper lo menos posible de raíces, una vez que se liberaron las raíces, se realizaron varios lavados con agua convencional sumergiendo las raíces y con la mano quitando los terrones de lodo, dejándolas lo más limpio posible. Posteriormente se realizó un etiquetado de la raíz colocando el tratamiento y el nivel de fertilización para tener un control de las mismas. Después se colocaron encima de trozos de papel dejándolas que se escurrieran por una hora, transcurrida la hora se colocaron en un secador de charolas, a una temperatura de 55 °C durante 24 horas, las raíces fueron sacadas una a una y se colocaron en una balanza analítica, para ahora si tomar el peso radicular de cada tratamiento.

3.3.4 Número de lóculos

Los lóculos son la cavidad del fruto en donde están dispuestas las semillas, esta variable respuesta sirvió como un indicador de la calidad del tomate ya que a partir del número de lóculos es la forma del tomate, para este experimento el cual se estuvo trabajando con un tomate tipo saladette esta variedad debe de tener de 2 a 4 lóculos para que conserve su forma convencional.

Después de la cosecha, el etiquetado de frutos y el pesado de frutos, los tomates se colocaron en una mesa de acero inoxidable y uno a uno se fueron cortando por mitad, y así fue como se observó y se contó el número de lóculos presentes en cada fruto.

3.3.5 ° Brix

Una vez que se realizó la recolección de frutos (cosecha) y previamente el etiquetado de los frutos se pasaron a tinas de plástico de 40 litros, en dichas tinas se separaron dependiendo del grado de madurez esto se realizó con la finalidad de evitar o disminuir el error de la medición de los ° brix, debido a que éstos, están estrechamente relacionados con el grado de madurez, ya que dependiendo del grado de madurez es la cantidad de azúcares.
Para la determinación del grado de madurez de los frutos de tomate se realizó una prueba de colorimetría basados en la norma PC-02-2005 "Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en tomate", en la cual se observan los valores recomendados para el grado de madurez. (Tabla 10)

Tabla 10.- Valores colorimétricos óptimos para un tomate maduro.

Variable	Valor	+ / -
L*	38.96	2.5
a*	21.23	2.5
b*	22.13	2.5

Para la realización de la prueba colorimétrica, se utilizó un colorímetro móvil CR-400 / 410 de la marca Konica Minolta, esta prueba se realizó en 3 distintas partes del fruto (parte media del fruto, parte opuesta media del fruto y en la parte superior del fruto), y los tres valores se promediaron, solo los frutos que se encontraban en el rango de la norma PC-02-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en tomate, fueron los frutos a los cuales se les realizó la prueba de ° brix.

Para medir los ° brix de los frutos se utilizó un refractómetro de mano Atago Master M, con una escala de 0 a 33 % de azúcares totales. Los frutos fueron cortados uno a uno por mitad en una tabla para picar y después de manera manual se apretó una mitad del fruto hasta conseguir una gota del jugo de tomate, ésta gota se colocó en el refractómetro y se ubicó

una fuente de luz para realizar la lectura de los ° brix esto se realizó por triplicado y se reportó el promedio.

3.3.6 Número de frutos

El número de frutos se contaron durante todo el ciclo de producción primavera – verano, se contaron por tratamiento y nivel de fertilización de cada planta de tomate.

3.3.7 Peso promedio de frutos

Los frutos fueron pesados uno a uno en una balanza analítica de platos de la marca OHAUS con capacidad de 250 gramos.

3.3.8 Rendimiento total

Para la última variable respuesta, se recolecto todos los frutos de un mismo tratamiento y con el mismo nivel de fertilización, y se pesaron en una báscula, para reafirmar esta variable respuesta se aplicaron filtros en el documento de Excel en el cual se tenía el peso de cada fruto y se colocó el mismo tratamiento y el mismo nivel de fertilización para saber el rendimiento total.

3.4 Experimento (otoño – invierno)

El experimento 2 (otoño – invierno) se llevó a cabo en un invernadero de la Universidad Politécnica de Guanajuato, el cual es de tipo túnel con tecnología baja y consta con una superficie de 100 m^2.

3.5 Material utilizado en el Experimento (otoño – invierno)

Todo el material (plántulas, suelo, agua, fertilizantes, productos biorracionales), fue exactamente el mismo, solo en este segundo experimento se utilizaron macetas de plástico negro de 43 centímetros de alto por 23 centímetros de ancho, estas macetas se colocaron para una réplica donde se evaluó peso radicular.

3.6 Diseño experimental (otoño – invierno)

El diseño experimental mediante el cual se desarrolló el experimento para determinar el número de mezclas fue un diseño de mezclas simplex reticular (3,2) aumentado, con 3 réplicas dando como resultado 10 mezclas a evaluar.

Y en el cual también se colocaron 2 testigos, de los cuales uno era un testigo de producción (fertilización convencional al 100 %) y el otro fue un testigo absoluto (agua).

Una vez que se tenían las proporciones con las que participaría cada producto biorracional se realizó un diseño de experimentos de bloques completamente al azar con 3 repeticiones, (Figura 9) donde la unidad experimental estuvo representada por 180 plantas de tomate, donde los bloques fueron la fertilización y los tratamientos fueron las distintas mezclas.

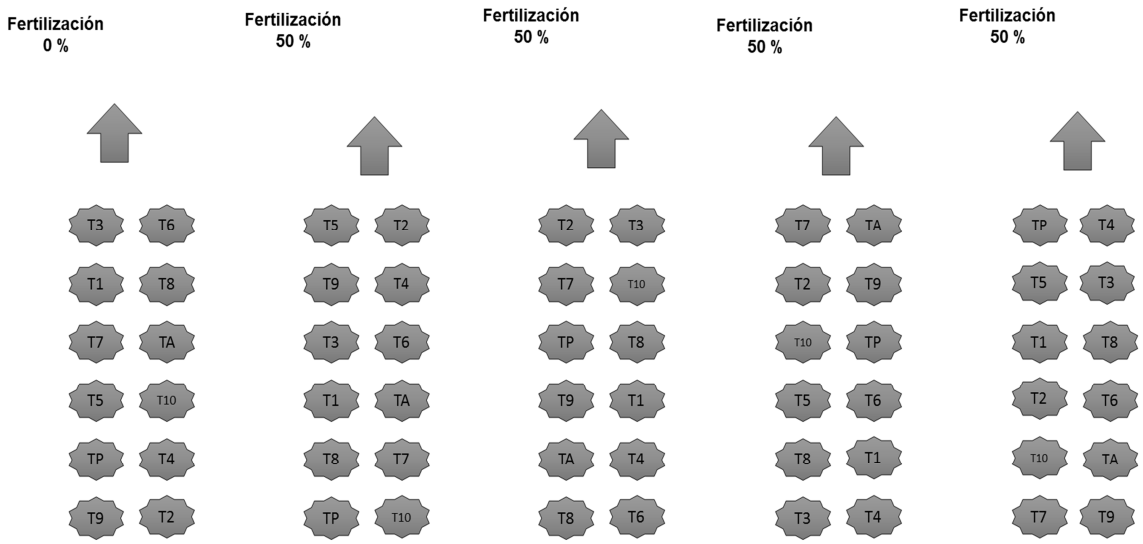


Figura 9.- Distribución de los tratamientos

3.7 Tratamientos utilizados en el experimento (otoño – invierno)

Los tratamientos que fueron utilizados en el experimento (primavera – verano), también fueron los mismo tratamientos que se utilizaron en el experimento (otoño – invierno) ver tabla 8.

El trasplante se llevó a cabo el 19 agosto del 2015, en cinco surcos de 5.47 metros de largo a doble hilera con una distancia entre plantas de 35 centímetros y 80 centímetros entre surcos de centro a centro. El mismo día se realizó un trasplante de 12 macetas por surco.

3.8 Programa de aplicaciones de los tratamientos experimento (otoño – invierno)

De acuerdo a especificaciones del fabricante se inoculó en tres ocasiones con un intervalo de separación de 20 días, para la primera inoculación con el producto biorracional natucontrol se realizó sumergiendo el cepellón de la planta en la solución, en la segunda y tercera inoculación ya fueron directamente a la raíz, para los dos productos biorracionales restantes las tres inoculaciones fueron directas a la raíz.
Primera aplicación: 18 de agosto del 2015 para el natucontrol y 19 de agosto del 2015 para glumix y AZ Seed.
Segunda aplicación: 8 de septiembre del 2015.
Tercera aplicación: 28 de septiembre del 2015.

3.9 Labores culturales del experimento (otoño – invierno)

Las labores culturales que se realizaron, durante el experimento otoño – invierno, fueron exactamente las mismas que se realizaron en el experimento primavera – verano, (tutoreo, poda, deschuponado, polinización, raleo, control de malezas, cosecha).

3.10 Variables evaluadas en el experimento (otoño – invierno)

Para la comparación de los tratamientos se tomaron las medidas por triplicado. Las variables estudiadas fueron las siguientes:

- Altura de planta
- Peso radicular
- Número de lóculos
- ° Brix
- Número de frutos
- Peso promedio de frutos
- Rendimiento total

Los datos obtenidos de los experimentos fueron analizados en el paquete estadístico Minitab versión 16 y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey.

3.11 Materiales, métodos y equipos utilizados para las variables respuestas del segundo experimento (otoño – invierno)

3.11.1 Altura de la planta

Las mediciones de las plantas se realizaron semanalmente, utilizando un flexómetro, la forma para las mediciones fue de la base del tallo de la planta a ras de suelo hasta la cabeza de la planta, dichas mediciones se realizaron el mismo día de la semana para poder tener promedios de crecimiento semanal.

3.11.2 Peso radicular

Para esta variable respuesta en el experimento 2, la última réplica de los tratamientos fue colocada en bolsas de plástico negro cuyas medidas fueron de 43 centímetros de largo y 23 centímetros de ancho, y se les realizó dos orificios en sentidos opuestos, en la parte inferior de las bolsas esto fue con la finalidad de que el agua al momento del riego se drenara y no

se estancará en la bolsa y ocurriera una pudrición de raíz. Con unas tijeras de poda se realizó un corte en el tallo de la planta (todas las plantas fueron cortadas con un tallo de 5 cm del ras de tierra), cuidadosamente se realizaron cortes a las bolsas hasta que se dejó las raíces al descubierto y poco a poco se fueron retirando los terrones de tierra, una vez que se liberaron las raíces, se realizaron varios lavados con agua convencional sumergiendo las raíces y con la mano quitando los terrones restantes de lodo, dejándolas lo más limpio posible. Posteriormente se realizó un etiquetado de la raíz colocando el tratamiento y el nivel de fertilización para tener un control de las mismas. Después se colocaron encima de trozos de papel dejándolas que se escurrieran por una hora, transcurrida la hora se colocaron en un secador de charolas a una temperatura de 55 ° C, durante 24 horas, las raíces fueron sacadas una a una y se colocaron en una balanza analítica, para ahora si tomar el peso radicular de cada tratamiento.

3.11.3 Número de lóculos

Los lóculos son la cavidad del fruto en donde están dispuestas las semillas, esta variable respuesta nos sirvió como un indicador de la calidad del tomate ya que a partir del número de lóculos es la forma del tomate, para este experimento el cual se estuvo trabajando con un tomate tipo saladette esta variedad debe de tener de 2 a 4 lóculos para que conserve su forma convencional.

Después de la cosecha, el etiquetado de frutos y el pesado de frutos, los tomates se colocaron en una mesa de acero inoxidable y uno a uno se fueron cortando por mitad, y así fue como se observó y se contó el número de lóculos presentes en cada fruto.

3.11.4 ° Brix

Una vez que se realizó la recolección de frutos (cosecha) y previamente el etiquetado de los frutos se pasaron a tinas de plástico de 40 litros, en dichas tinas se separaron dependiendo del grado de madurez esto se realizó con la finalidad de evitar o disminuir el error de los ° brix, ya que los ° brix están estrechamente relacionados con el grado de madurez, ya que dependiendo del grado de madurez es la cantidad de azúcares.

Para la determinación del grado de madurez de los frutos de tomate se realizó una prueba de colorimetría basados en la norma PC-02-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en tomate, (Tabla 10).

Para la realización de la prueba colorimétrica, se utilizó un colorímetro móvil CR-400 / 410 de la marca Konica Minolta, esta prueba se realizó en 3 distintas partes del fruto (parte media del fruto, parte opuesta media del fruto y en la parte superior del fruto), y los tres valores se promediaron. Y solo los frutos que se encontraban en el rango de la norma PC-02-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en tomate, eran los frutos a los cuales se les realizó la prueba de ° brix.

Para medir los ° brix de los frutos se utilizó, un refractómetro d mano Atago Master M, con una escala de 0 a 33 % de azucares totales. Los frutos fueron cortados uno a uno por mitad en una tabla para picar y después de manera manual se apretó una mitad del fruto hasta conseguir una gota del jugo de tomate esta gota se colocó en el refractómetro y se ubicó una fuente de luz para realizar la lectura de los ° brix esto se realizó por triplicado y al final se sacaron promedios de los valores.

3.11.5 Número de frutos

El número de frutos se contaron durante todo el ciclo de producción otoño – invierno, se contaron por tratamiento y nivel de fertilización de cada planta de tomate.

3.11.6 Peso promedio de frutos

Los frutos fueron pesados uno a uno en una balanza analítica de platos de la marca OHAUS con capacidad de 250 g.

3.11.7 Rendimiento total

Al final de ciclo, los frutos fueron cosechados y se pesaron de acuerdo a cada tratamiento y cada nivel de fertilización en una balanza analítica de platos de la marca OHAUS.

4. RESULTADOS

4.1 Experimento 1 (primavera – verano)

4.1.1 Altura de planta

Tabla 11, se muestra el promedio de altura de planta por tratamiento y por nivel de fertilización.

Tabla 11.- Altura de planta

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Altura de la planta al final del ciclo (cm)				
T1	105.7	134.0	118.0	113.3	107.7
T2	83.7	106.3	112.7	109.0	118.3
T3	113.0	124.0	145.7	112.7	113.7
T4	104.0	110.0	142.3	133.7	117.3
T5	102.7	94.3	133.0	123.7	125.3
T6	99.0	121.3	129.0	113.3	115.3
T7	96.0	135.7	143.0	133.7	150.3
T8	86.3	139.0	112.7	100.7	135.0
T9	98.0	120.0	107.0	120.3	126.3
T10	81.3	124.7	117.3	130.0	134.3
TP	108.0	112.0	114.0	112.0	139.0
TA	104.7	117.7	98.7	101.0	106.0

En la Figura 10, se muestra el promedio de altura de las plantas al final del ciclo de producción, tomando en cuenta el tratamiento y el nivel de fertilización.

En la cual se puede observar que las plantas que no fueron fertilizadas, sin importar el tratamiento con producto biorracional que tuvieran, presentaron menor altura en comparación de las plantas que recibieron algún nivel de fertilización.

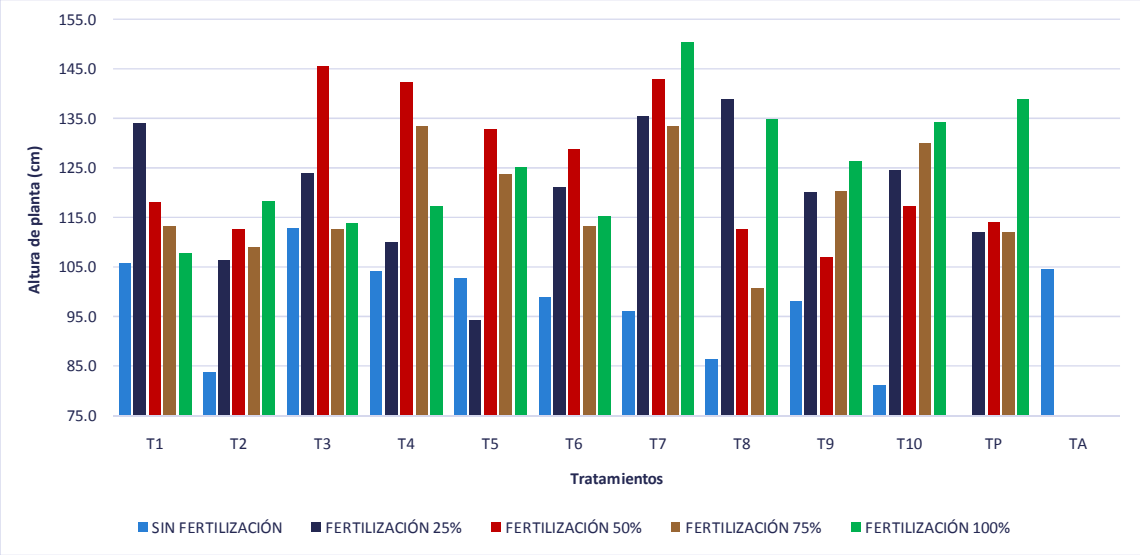


Figura 10. Alturas de las plantas por tratamiento y por nivel de fertilización.

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que solamente el nivel de fertilización fue significativo para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el tratamiento sin fertilización y el grupo de tratamientos con cualquier nivel de fertilización (Tabla 12).

Tabla 12.- Comparación de medias de altura de planta.

% de Fertilización	Media (cm)	
50	126.06	A
100	124.36	A
25	120.93	A
75	119.03	A
0	96.96	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

4.1.2 Fisiopatías de las plantas del experimento primavera – verano

Los resultados de la comparación visual mostraron que las plantas que tenían un nivel de fertilización menor al 50 % presentaron algún tipo de fisiopatía, sin importar el tratamiento. En la figura 11 se muestra que en el nivel de fertilización del 25 % se presentaron algunas fisiopatías, la más notoria es por deficiencia de fósforo, en el nivel de fertilización 0 % o sin fertilización se observaron fisiopatías por falta de fierro, nitrógeno, fósforo, magnesio entre otros, no se aplico ningún fertilizante foliar para corregir estas deficiencias ya que se quería demostrar cuál era el mejor nivel de fertilización.

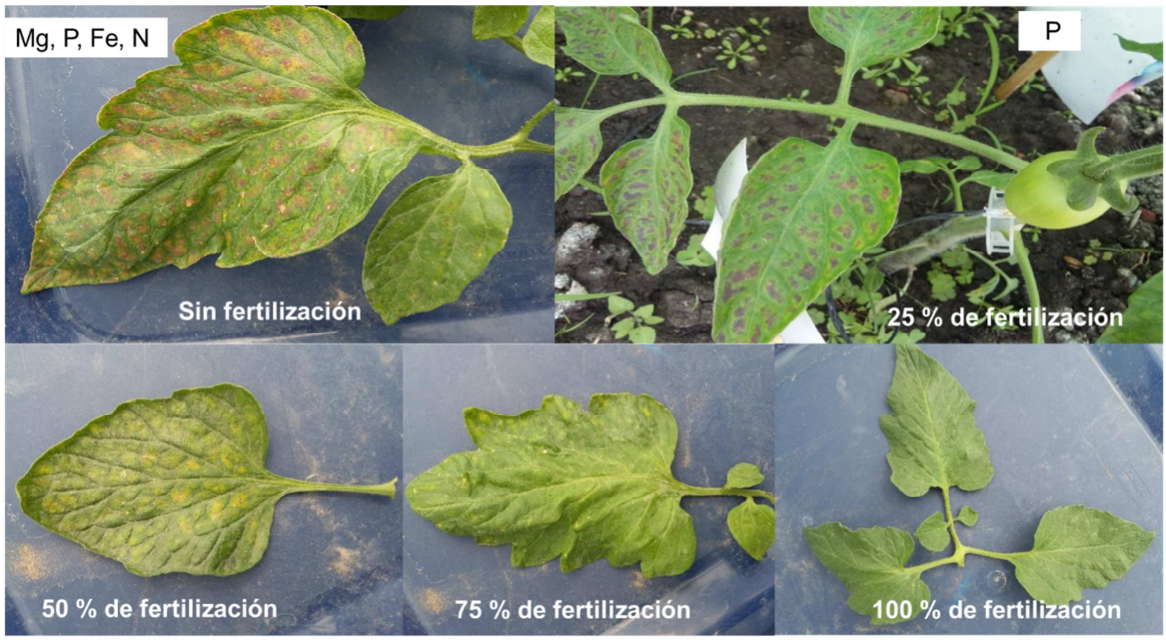


Figura 12.- Fisiopatías presentadas en las hojas de las plantas de tomate.

4.1.3 Etapas fenológicas de la planta

Para esta variable respuesta se comparó los tratamientos con productos biorracionales (glumix, natucontrol, AZ Seed) contra los testigos de producción (fertilización convencional al 100 %) y absoluto (solamente agua), así como también una comparación literaria, (Tabla 13).

Tabla 13.- Fenología de las plantas

Tratamiento	Desarrollo vegetativo	Floración	Llenado de frutos	Cosecha
Mineral convencional	20 – 50 días	50 – 80 días	80 – 100 días	100 días en adelante
Biorracional	35 días	69 días	83 días	115 días

Los resultados obtenidos mostraron que no hay retraso en ninguna etapa fenológica del cultivo utilizando productos biorracionales, comparando los tiempos de las etapas fenológicas de los cultivos con fertilizaciones convencionales.

4.1.4 Peso radicular

Estas mediciones se realizaron al final del ciclo de producción del tomate de primavera – verano. Se realizó para cada tratamiento y para cada nivel de fertilización de cada planta, y se sacaron promedios, (Tabla 14)

Tabla 14.- Promedio del peso radicular

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Peso radicular (g)				
T1	36	37.63	40.5	40.7	38.73
T2	35.13	34.43	36.56	32.16	34.1
T3	33.13	37.26	41.4	35.1	37.3
T4	35.83	37.63	38.1	38.23	33.16
T5	38.86	40.03	46.23	45.6	42.13
T6	31.43	36.73	39.06	34.26	39.7
T7	36.46	39.1	41.76	43.63	41.36
T8	30.1	33.2	40	22.23	28.13
T9	36.9	36.4	38.86	27.33	30.9
T10	32.5	37.46	43.9	25.8	27.33
TP	32.03	31.81	31.13	28.86	28.3
TA	21.4	19.86	23.4	21.86	22.83

En la figura 12, se observa el promedio del peso radicular de las plantas al final del ciclo de producción, tomando en cuenta el tratamiento y el nivel de fertilización.

En la cual podemos observar que las plantas las cuales fueron inoculadas con los productos biorracionales presentan un mayor peso radicular en comparación con los testigos de producción y el testigo absoluto.

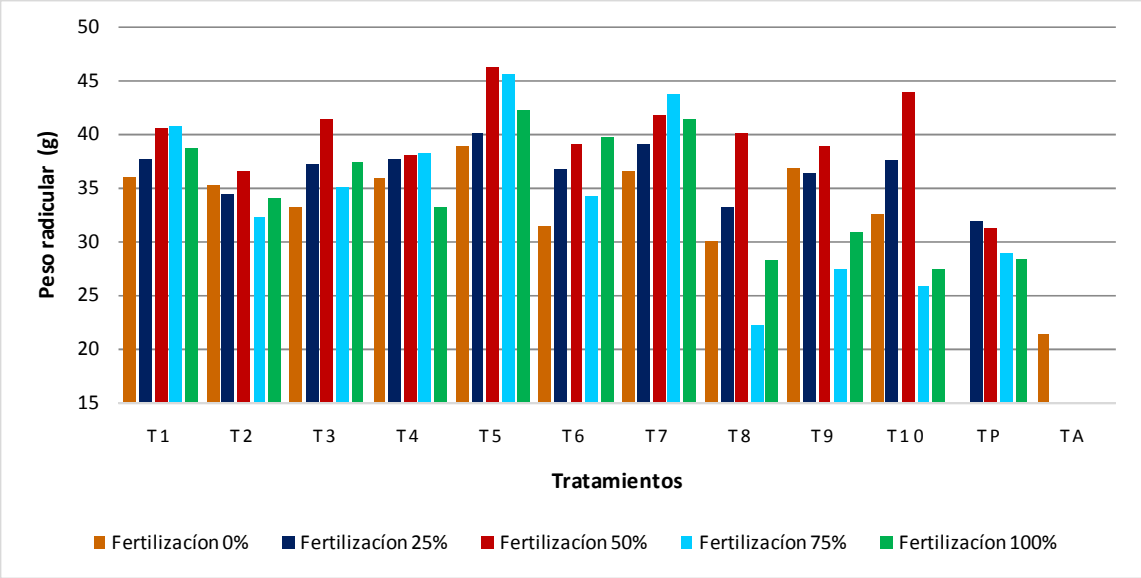


Figura 12. Peso radicular por tratamiento y por nivel de fertilización.

Los datos que se obtuvieron de la variable de peso radicular, fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales fueron significativos para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 15), con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el 50 % de fertilización y el resto de los niveles de fertilización. Se realizo otra comparación de medias con la prueba de Tukey, pero en esta ocasión fue para los distintos tratamientos, (Tabla 16), en la cual se puede observar que hubo diferencia significativa entre el tratamiento 5, 7 y el resto del grupo de los tratamientos.

Tabla 15.- Comparación de medias del peso radicular con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (g)	
50	36.64	A
25	36.09	B
100	35.28	B
75	33.84	B
0	32.93	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

Tabla 16.- Comparación de medias del peso radicular con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales.

Tratamiento	Media (g)	
T5	40.64	A
T7	40.06	A
T1	37.91	AB
T3	36.77	ABC
T6	35.57	ABC
T4	35.32	ABC
T9	34.08	ABC
T2	34.01	ABC
T10	32.46	BC
T8	30.73	C

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

De manera general, tanto el nivel de fertilización como el tratamiento con productos biorracionales tuvieron diferencia significativa observando que con los tratamientos 5 y 7, con un nivel de fertilización al 50 % se obtuvieron mayor peso radicular.

En la figura 13 se muestran los tratamientos con mejores resultados T5 (50 % A y 50 % B) y T7 (33.3 % A, 33.3 % B, y 33.3 % C). Con un nivel de fertilización al 50 % comparado con el testigo absoluto y con el testigo de producción, en la cual se puede observar que la aplicación de productos biorracionales tiene un efecto positivo sobre el peso radicular de las plantas.

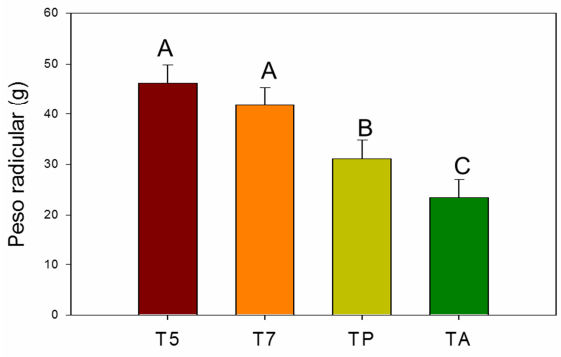


Figura 13.- Comparación de los mejores tratamientos con respecto a los testigos para el peso radicular

4.1.5 Número de lóculos

Para la variable de respuesta del número de lóculos del fruto, se realizó un corte transversal a la mitad. Estas mediciones se realizaron al final del ciclo de producción del tomate de primavera – verano. Se realizó para cada fruto de cada tratamiento y para cada nivel de fertilización, y se sacaron promedios (Tabla 17).

Tabla 17.- Número de lóculos por fruto promedio por tratamiento y por nivel de fertilización.

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Número de lóculos				
T1	3	4	3	3	4

T2	3	4	3	4	3
T3	4	4	3	4	3
T4	3	4	4	3	3
T5	4	4	3	4	3
T6	4	4	3	3	4
T7	3	3	4	3	3
T8	4	4	3	3	4
T9	3	4	3	3	3
T10	3	4	3	4	3
TP	4	4	4	4	3
TA	4	3	3	3	3

En la Figura 14, se muestra el promedio del número de lóculos de los frutos al final del ciclo de producción, tomando en cuenta el tratamiento y el nivel de fertilización, en esta grafica se puede observar que no importa el nivel de fertilización o la aplicación de los productos biorracionales para el número de lóculos del jitomate.

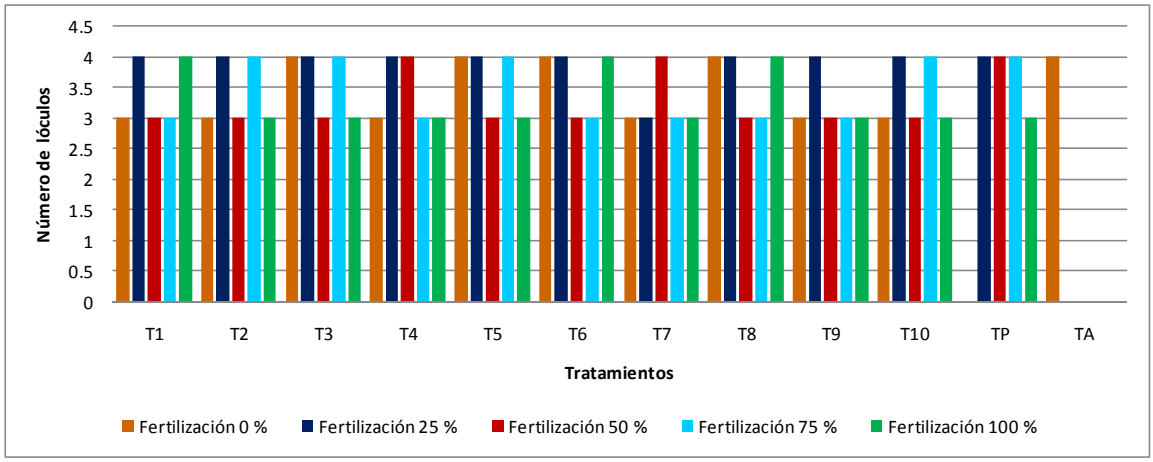


Figura 14.- Número de lóculos de frutos de tomate.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del número de lóculos, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales no son significativos.

Como para esta variable respuesta no hubo significancia no se realizó una comparación de medias.

4.1.6 ° Brix

Todos aquellos frutos que entraron de acuerdo a la norma PC-02-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en tomate, se les analizaron los ° Brix, y los frutos que no entraban dentro de la norma se dejaron madurar hasta que cumplieran los estándares para poder realizarles esta prueba. Se realizó para cada fruto de cada tratamiento y para cada nivel de fertilización, y se sacaron promedios (Tabla 18).

Tabla 18.- ° Brix promedio por tratamiento y por nivel de fertilización.

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
			° Brix		
T1	3.1	3.2	3.5	3.9	3.8
T2	2.9	3.6	3.8	4.0	4.1
T3	3.0	3.9	3.9	4.0	4.0
T4	3.0	3.8	3.7	3.8	3.8
T5	3.1	3.8	4.1	3.7	4.1
T6	2.9	3.6	3.6	3.5	3.8
T7	2.9	3.9	4.1	4.0	4.3
T8	3.1	3.3	3.9	3.9	3.8
T9	3.1	3.2	3.8	3.5	3.6
T10	3.1	3.6	3.7	3.3	3.5

TP	3.5	3.5	3.6	3.7	3.3
TA	2.9	2.9	3.0	2.9	2.7

En la figura 15 se muestra el promedio de los ° Brix de los frutos al final del ciclo de producción, en esta grafica se puede observar que las plantas que no se fertilizaron tienen menor ° Brix (3 – 3.5) en comparación con aquellas que si recibieron algún nivel de fertilización (3.5 – 4.5 ° Brix), referente a los tratamientos tienen un comportamiento muy parecido para esta variable.

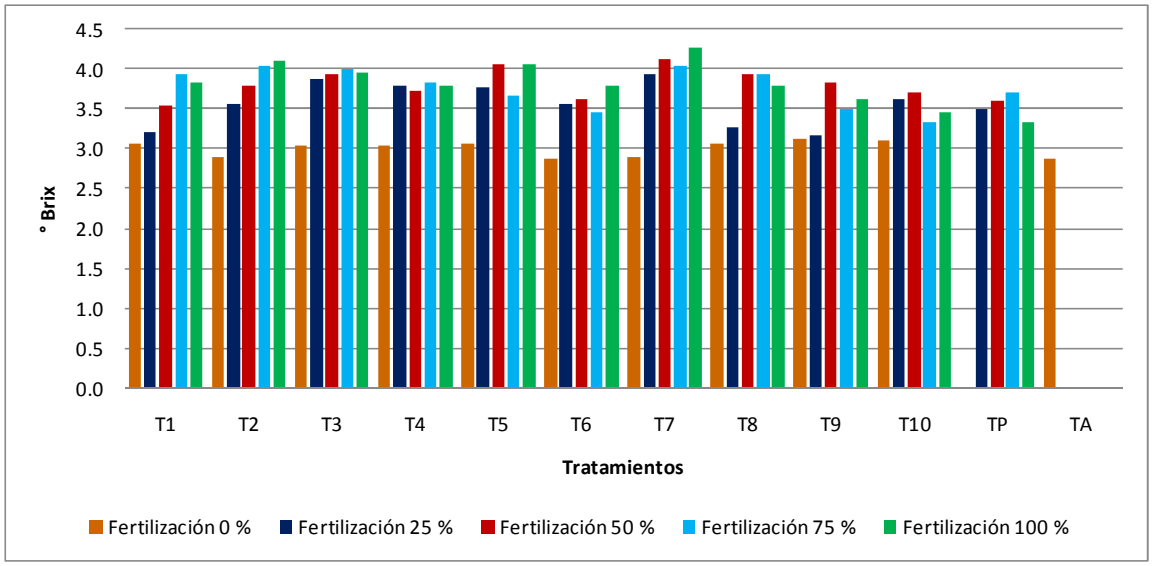


Figura 15.- ° Brix por tratamiento y por nivel de fertilización.

Los datos que se obtuvieron de la variable de ° Brix, fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales son significativos para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 19) con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el tratamiento sin fertilización y fertilización al 25 %, con el resto de los tratamientos, también se realizó una comparación

de medias para los distintos tratamientos (Tabla 20), con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el tratamiento 7 y el resto del grupo de tratamientos con productos biorracionales.

Tabla 19.- Comparación de medias de los ° Brix del tomate con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (° Brix)	
100	3.87	A
50	3.83	A
75	3.77	AB
25	3.57	B
0	3.01	C

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

Tabla 20.- Comparación de medias de los ° Brix del tomate con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales.

Tratamiento	Media (° Brix)	
T7	3.85	A
T3	3.76	AB
T5	3.72	AB
T2	3.68	AB
T4	3.64	AB
T8	3.60	AB
T1	3.51	AB
T6	3.46	B
T9	3.45	B
T10	3.44	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

En la figura 16, se muestran los tratamientos con mejores resultados T5 (50 % A y 50 % B) y T7 (33.3 % A, 33.3 % B, y 33.3 % C), con un nivel de fertilización al 50%, comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción.

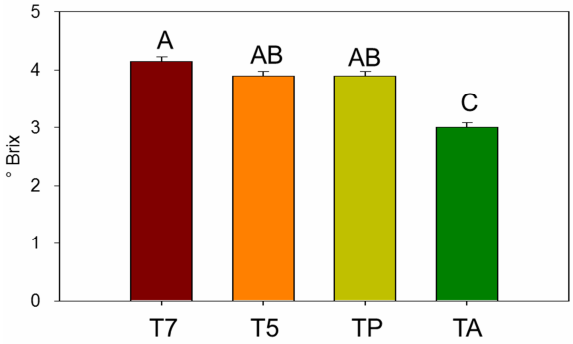


Figura 16.- Los mejores tratamientos comparados con los testigos para los ° Brix en el fruto.

4.1.7 Número de frutos

Al final del ciclo de producción primavera – verano, los frutos fueron cosechados y etiquetados por planta, y fueron contabilizados por piezas de acuerdo al tratamiento con productos biorracionales y al nivel de fertilización como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21.- Número de frutos por planta.

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Número de frutos (Pza.)				
T1	16	18	23	19	20
T2	15	18	19	17	20
T3	15	19	23	17	19
T4	14	17	22	18	20

T5	14	16	24	19	21
T6	16	19	25	21	21
T7	19	20	26	23	22
T8	12	18	22	21	20
T9	18	21	21	21	20
T10	18	20	20	20	18
TP	16	17	18	16	18
TA	14	15	16	11	17

En la figura 17, se muestra el promedio del número de frutos por tratamiento y por nivel de fertilización al final del ciclo de producción, por planta donde se puede apreciar que con una fertilización al 50% es donde en la mayoría de los tratamientos con productos biorracionales se encuentra un mayor número de frutos.

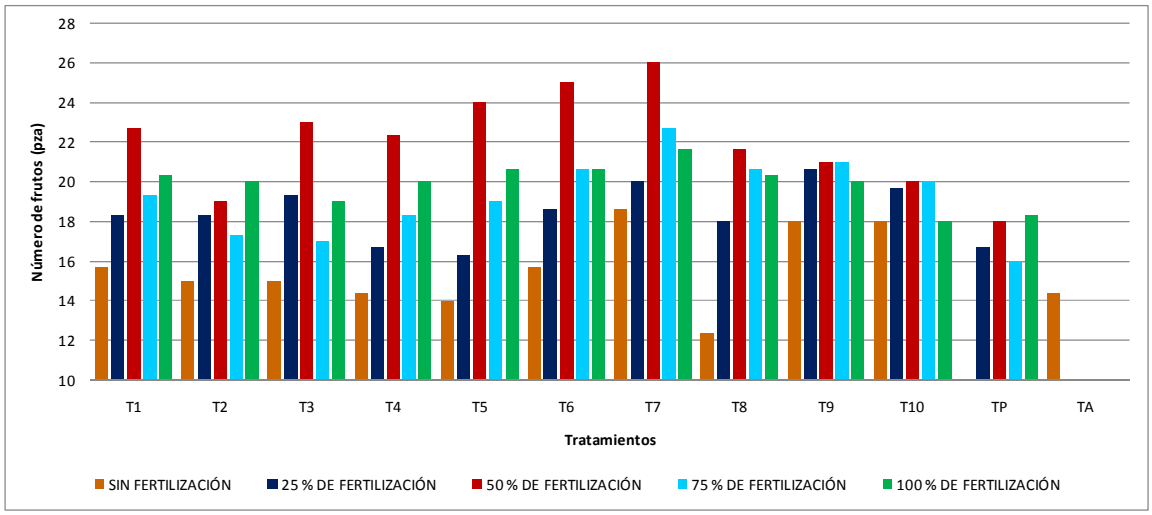


Figura 17.- Número de frutos por planta.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del número de frutos, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales son significativos para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias

con la prueba de Tukey, para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 22), con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el nivel de 50 % de fertilización y el resto de los niveles de fertilización, de la misma manera se realizó una comparación de medias para los distintos tratamientos con productos biorracionales (Tabla 23), en la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre los tratamientos 5, 7 y el resto de los tratamientos.

Tabla 22.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (Pza.)				
50	20.86	A			
75	18.86		B		
100	17.93		B		
25	14.46			C	
0	12.36				D

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

Tabla 23.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales.

Tratamiento	Media (Pza.)			
T7	22.66	A		
T5	22.40	A		
T1	16.73		B	
T2	16.33			BC
T6	16.26			BC
T4	16.00			BC
T3	16.00			BC
T8	14.80			BC

T9	14.06	BC
T10	13.73	C

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a P ≤ 0.05).

El nivel de fertilización, así como el tratamiento con productos biorracionales tuvieron diferencia significativa observando que los mejores tratamientos con productos biorracionales son 7 y 5 con un nivel de fertilización del 50 % fue donde se obtuvieron mayor número de frutos.

En la figura 18, se muestran los tratamientos con mejores resultados T5 (50 % A y 50 % B) y T7 (33.3 % A, 33.3 % B, y 33.3 % C), con un nivel de fertilización al 50%, comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción, se puede apreciar claramente que el número de frutos es mayor cuando se utilizan los productos biorracionales en combinación con una fertilización convencional al 50 %.

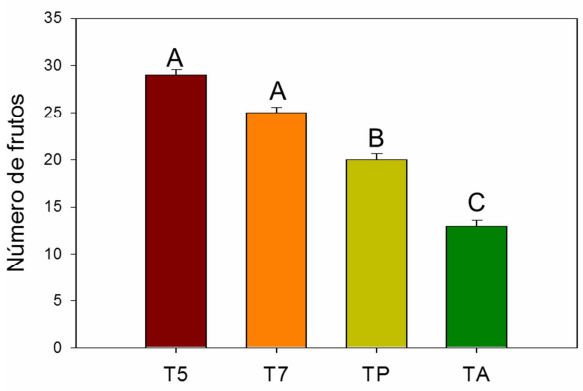


Figura 18.- Número de frutos de los mejores tratamientos comparados con los testigos.

4.1.8 Peso promedio de frutos

Para esta variable respuesta, se etiquetaron todos los frutos del ciclo primavera – verano, de acuerdo al tratamiento biorracional con el que estaban inoculados, y al nivel de fertilización, se pesaron uno a uno en la balanza y se sacaron promedios (Tabla 24).

Tabla 24 .- Peso promedio de los frutos.

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Peso promedio de los frutos (g)				
T1	85.43	97.53	112.00	92.43	104.00
T2	88.42	92.07	98.51	93.42	98.35
T3	87.33	92.41	100.76	101.33	95.58
T4	88.74	100.46	109.93	98.74	98.03
T5	88.33	91.54	101.80	101.33	96.23
T6	87.28	96.76	98.97	95.74	96.64
T7	89.92	96.14	99.89	93.73	95.23
T8	84.66	84.96	98.25	98.66	105.76
T9	89.99	97.86	102.19	95.99	88.76
T10	90.07	92.62	108.82	93.96	97.75
TP	90.46	96.61	103.90	96.34	88.25
TA	80.67	78.21	82.04	80.21	82.97

En la figura 19, se muestra el promedio del peso de los frutos de tomate por tratamiento y por nivel de fertilización al final del ciclo de producción, se puede apreciar que todos los tratamientos con productos biorracionales y con un nivel de fertilización del 50 % es donde se obtuvieron los frutos con mayor peso.

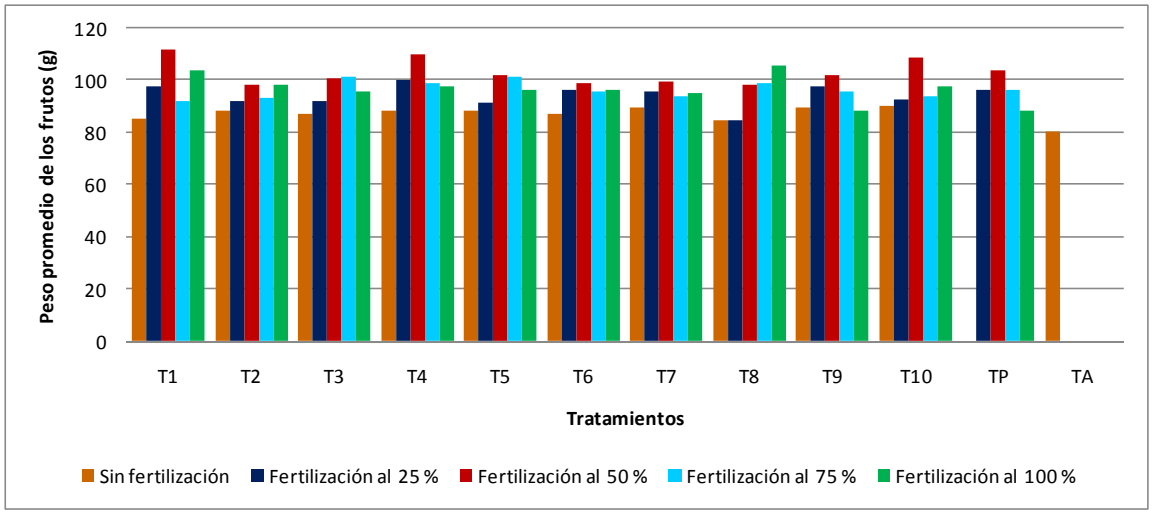


Figura 19. Peso promedio de los frutos de cada tratamiento y nivel de fertilización.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del peso promedio de frutos, fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que solamente el nivel de fertilización fue significativo para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el nivel de fertilización al 50 % y el resto de los niveles (Tabla 25).

Tabla 25.- Comparación de medias del peso promedio de los frutos de tomate con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (g)			
50	103.35	A		
100	97.64		B	
75	96.51		B	
25	93.94		B	
0	88.01			C

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a $P \leq 0.05$).

4.1.9 Rendimiento total

Para esta variable respuesta, se etiquetaron todos los frutos del ciclo primavera – verano, de acuerdo al tratamiento biorracional con el que estaban inoculados, y al nivel de fertilización, se pesaron todos los frutos de un mismo tratamiento y de un mismo nivel de fertilización, para obtener el rendimiento total (kg/m^2), (Tabla 26).

Tabla 26.- Rendimiento total por tratamiento por nivel de fertilización.

Tratamiento	Sin fertilización	Fertilización al 25 %	Fertilización al 50 %	Fertilización al 75 %	Fertilización al 100 %
	Rendimiento total (kg/m^2)				
T1	6	7	10	7	8
T2	5	5	8	6	6
T3	6	6	9	8	8
T4	6	7	9	7	7
T5	7	8	13	9	10
T6	6	6	8	8	7
T7	7	9	12	9	10
T8	6	7	7	8	7
T9	5	6	8	7	6
T10	6	6	9	8	7
TP	6	7	8	7	7
TA	5	5	5	5	6

En la figura 20, se muestra el rendimiento total (k/m^2) de los frutos de tomate por tratamiento y por nivel de fertilización al final del ciclo de producción, se puede observar que los tratamientos 5 y 7 con un nivel de fertilización del 50 % en comparación con los demás tratamientos y niveles de fertilización fueron los que presentaron un mayor rendimiento.

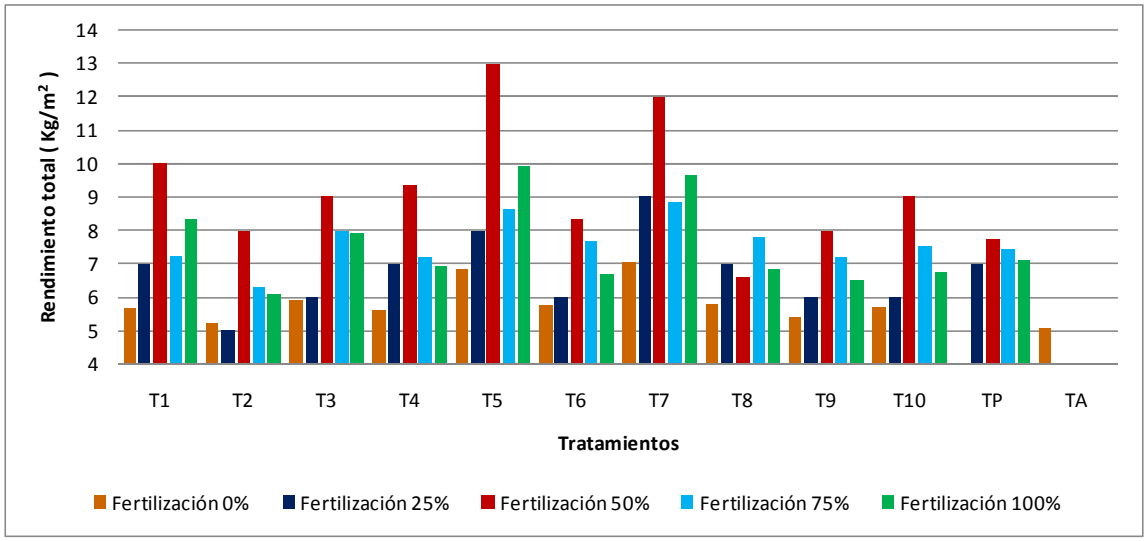


Figura 20. Rendimiento total.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del rendimiento total, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el tratamiento con productos biorracionales, así como el nivel de fertilización son significativos para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el nivel de fertilización al 50 % y el resto de los niveles de fertilización (Tabla 27), de la misma forma se realizó una comparación de medias, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre los tratamientos 5 y 7 comparados con el resto de los tratamientos (Tabla 28).

Tabla 27.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (k/m^2)		
50	9.32	A	
75	7.63		B
100	7.55		BC

25	6.70	CD
0	5.88	D

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a P ≤ 0.05).

Tabla 28.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto a los tratamientos con productos biorracionales.

Tratamiento	Media (kg/m^2)		
T7	9.30	A	
T5	9.27	A	
T1	7.64		B
T3	7.35		B
T4	7.21		B
T10	6.99		B
T6	6.88		B
T8	6.79		B
T9	6.61		B
T2	6.11		B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey a P ≤ 0.05).

Para el rendimiento total los tratamientos T5 y T7 fueron estadísticamente iguales y mejor que el resto así como el nivel de fertilización al 50 % fue el mejor estadísticamente.

En la figura 21 se observa el rendimiento a partir del nivel de fertilización y en la figura 22 se observa los tratamientos con mejores resultados T5 (50 % A y 50 % B) y T7 (33.3 % A, 33.3 % B, y 33.3 % C), con un nivel de fertilización al 50 %, comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción.

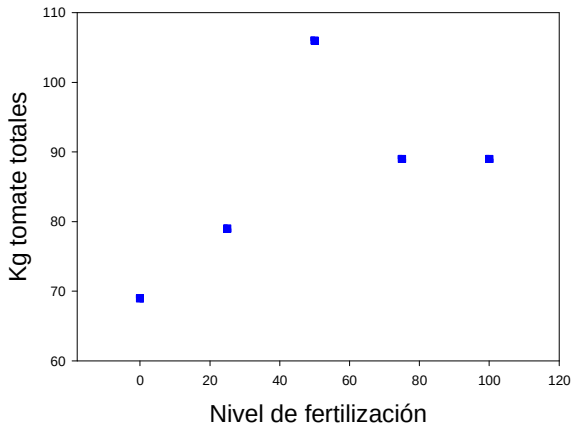


Figura 21.- Producción total vs. nivel de fertilización

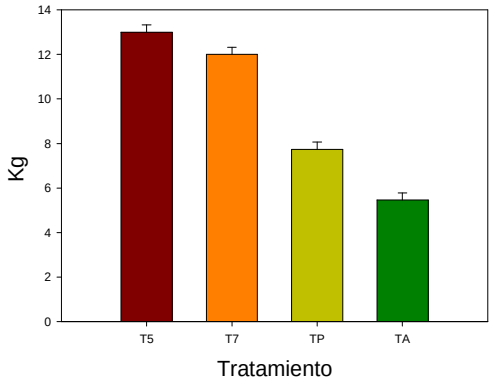


Figura 22.- Producción total vs mejores tratamientos de productos biorracionales y testigos.

En la tabla 29, se observa un resumen de todas las variables respuestas analizadas, así como cuales tuvieron algún efecto significativo, además se observa los mejores tratamientos y los mejores niveles de fertilización por variable respuesta evaluada.

Tabla 29.- Resumen del análisis estadístico del efecto de los factores, tratamiento y nivel de fertilización, sobre las variables analizadas, durante el ciclo primavera – verano.

Variable Respuesta	Factor		Mejor Tratamiento
Altura de planta (cm)	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50, 25, 100, 75
Peso radicular (g)	Tratamiento	*	T5, T7, T1, T3, T6, T4, T9, T2
	Fertilización	*	50
Número de lóculos	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	NS	X
° Brix	Tratamiento	*	T7, T3, T5, T2, T4, T8, T1
	Fertilización	*	50, 100
Número de frutos (pza.)	Tratamiento	*	T7, T5
	Fertilización	*	50
Peso promedio de frutos (g)	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50
Rendimiento Total (kg)	Tratamiento	*	T7, T5
	Fertilización	*	50

NS: No Significativo

*: Significativo

4.2 Experimento 2 (otoño – invierno)

4.2.1 Altura de planta

En la tabla 30, se muestra el promedio de altura de planta por tratamiento ya con solo un nivel de fertilización que es al 50% ya que este nivel fue el más eficiente en el experimento 1 (primavera – verano) por nivel de fertilización.

Tabla 30.- Altura de la planta

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Altura de la planta al final del ciclo (cm)	
T1	90	123
T2	83.66	129.33
T3	109.66	145.66
T4	86.33	142.33
T5	90	133
T6	99	146.66
T7	90	143
T8	86.33	119
T9	91.66	119.66
T10	74	123.66
TP	108	126
TA	101.66	94

En la figura 23 se muestra el promedio de altura de las plantas al final del ciclo de producción (otoño – invierno), tomando en cuenta el tratamiento y el mejor nivel de fertilización del ciclo pasado, se observa que no hay una diferencia tan grande entre tratamientos.

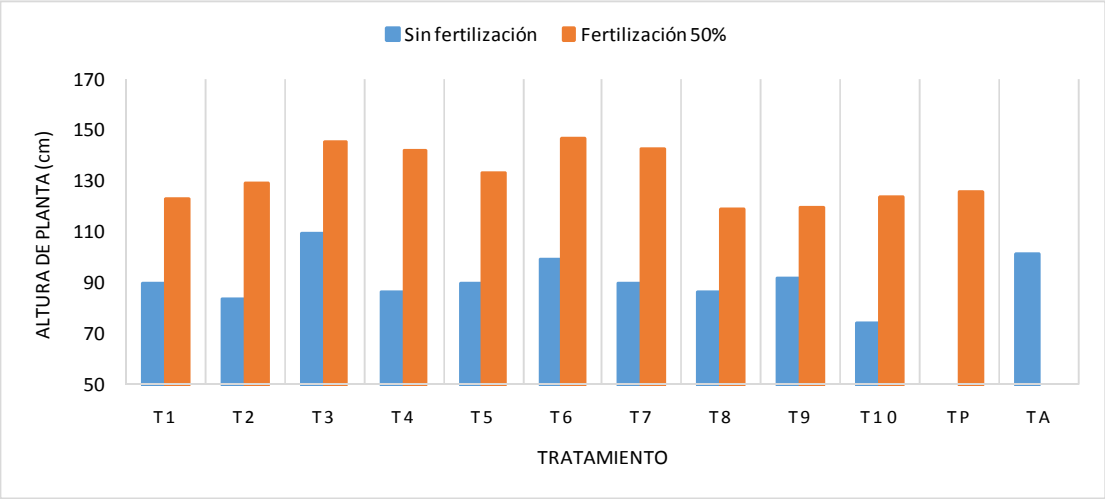


Figura 23.- Altura de la planta por tratamiento con un nivel de fertilización.

Los datos que se obtuvieron de la variable de respuesta de altura de planta se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que solamente el nivel de fertilización es significativo para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el nivel de fertilización al 50 % y el nivel sin fertilizar, (Tabla 31).

Tabla 31.- Comparación de medias de altura de planta.

% de Fertilización	Media (cm)	
50	127.81	A
0	93.92	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

4.2.2 Peso radicular

Estas mediciones se realizaron al final del ciclo de producción del tomate otoño – invierno. Se realizó para cada tratamiento y para el mejor nivel de fertilización del ciclo pasado, (Tabla 32).

Tabla 32.- Peso radicular por tratamiento.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Peso radicular (g)	
T1	10.6	23.53
T2	9.13	30.43
T3	9.66	27.7
T4	14.76	28.6
T5	12.36	32.6
T6	13.53	30.7
T7	10.93	42.03
T8	14.44	36.23
T9	11.56	29.23
T10	12.23	27.66
TP	11.6	23.83
TA	10.36	17.7

En la Figura 24 se muestra el promedio del peso radicular de las plantas al final del ciclo de producción, tomando en cuenta el tratamiento y el mejor nivel de fertilización del ciclo pasado, se puede observar que el tratamiento 7 es ligeramente mejor que el resto de los tratamientos.

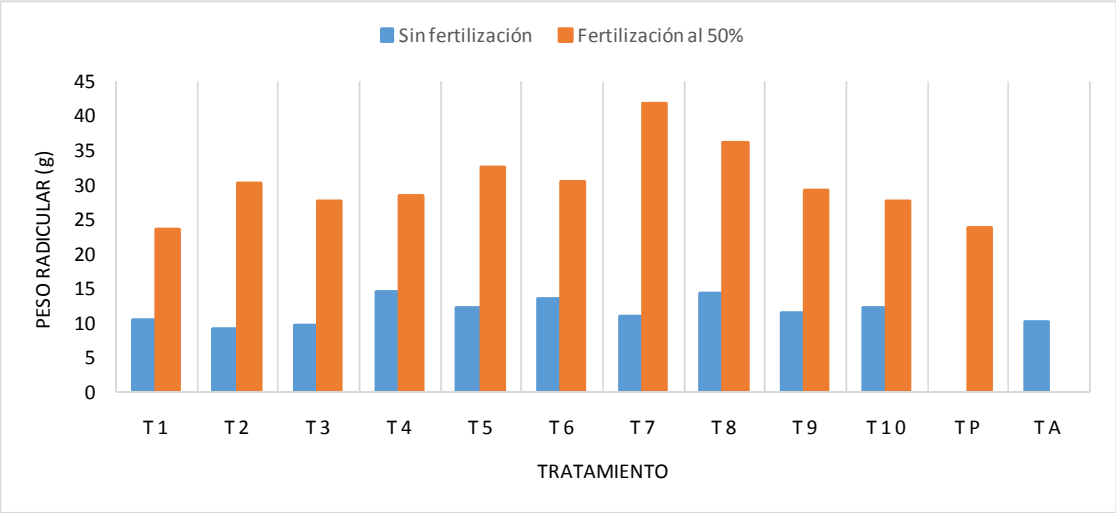


Figura 24. Peso radicular por tratamiento.

Los datos de peso radicular fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que solamente el nivel de fertilización fue significativo, para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el tratamiento con el nivel de fertilización al 50 % y sin fertilizar. (Tabla 33).

Tabla 33.- Comparación de medias sobre el peso radicular.

% de Fertilización	Media (g)	
50	30.87	A
0	11.92	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

Estadísticamente hablando ningún tratamiento con productos biorracionales fue significativo sobre esta variable respuesta, sin embargo comparándolo con los testigos de producción y el testigo absoluto tienen diferencia significativa (Figura 25).

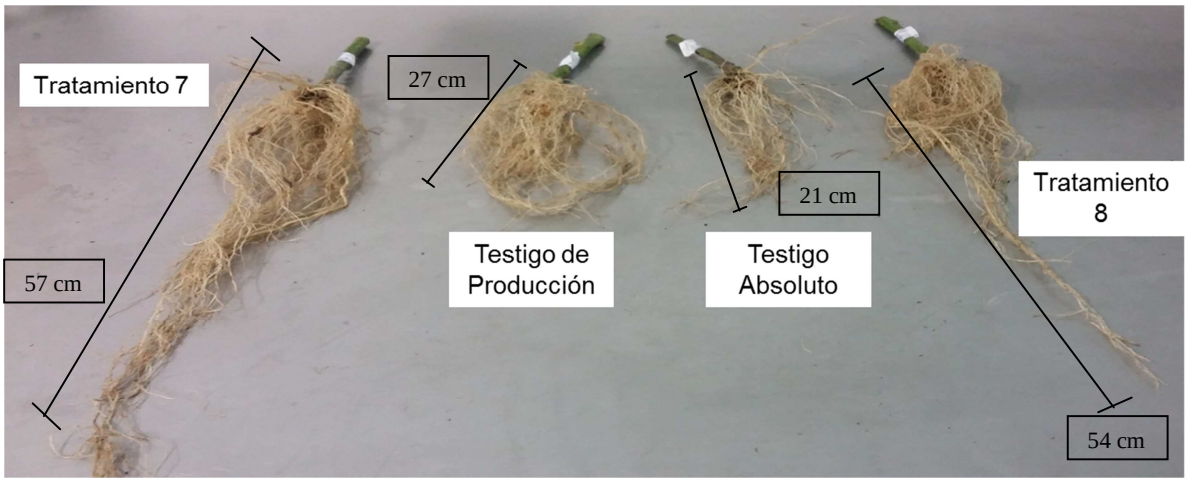


Figura 25.- Comparación de peso radicular entre tratamientos y testigos

En la figura 26 se muestran las comparaciones de los testigos de producción, testigo absoluto y el tratamiento con productos biorracionales con el mejor nivel de fertilización, en la cual se puede observar que tiene mayor peso radicular las plantas que fueron inoculadas con productos biorracionales.

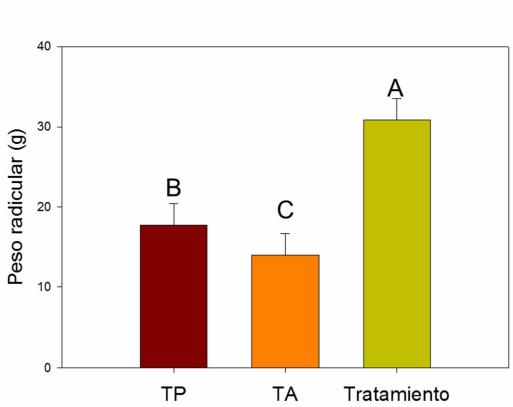


Figura 26.- Peso radicular

4.2.3 Número de lóculos (otoño – invierno)

Estas mediciones se realizaron al final del ciclo de producción. Se realizó para cada fruto de cada tratamiento y para el mejor nivel de fertilización, y se sacaron promedios, (Tabla 34).

Tabla 34.- Número de lóculos.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Número de lóculos	
T1	4	4
T2	3	4
T3	4	4
T4	4	3
T5	4	4
T6	3	3
T7	4	4
T8	4	4
T9	4	3
T10	3	3
TP	4	3
TA	4	4

En la figura 27 se muestra el número de lóculos de los frutos al final del ciclo de producción, donde podemos observar que el número de lóculos es igual para los distintos tratamientos que para el nivel de de fertilización, por lo tanto esta variable respuesta depende directamente de otro factor (polinización).

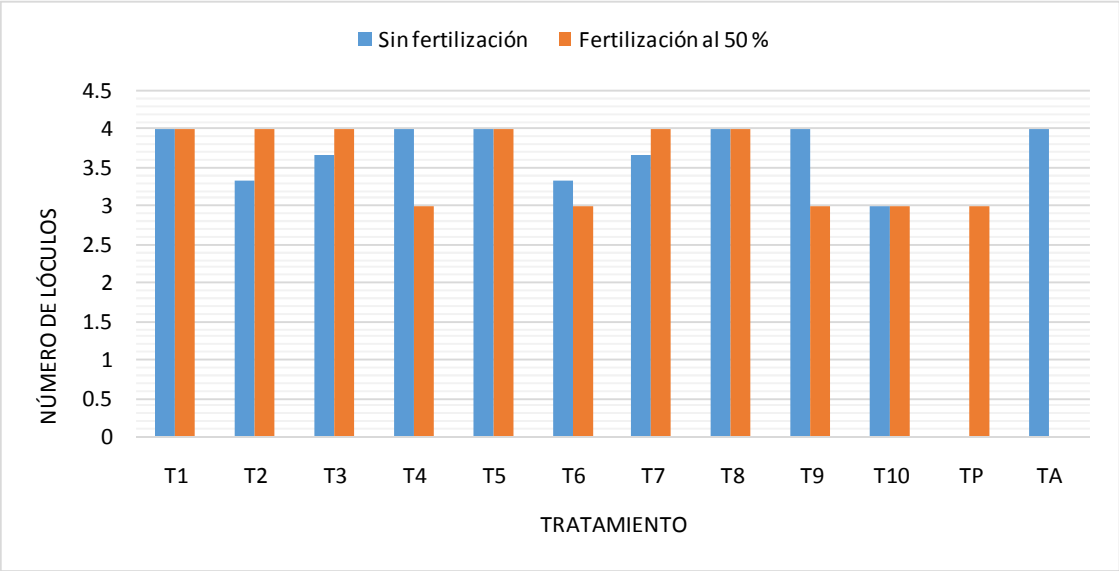


Figura 27.- Número de lóculos por tratamiento.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del número de lóculos, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales no son significativo, así que no se realizó una comparación de medias.

4.2.4 ° Brix (otoño – invierno)

Se realizó para cada fruto de cada tratamiento y para cada nivel de fertilización, y se sacaron promedios (Tabla 35).

Tabla 35.- ° Brix por tratamiento.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	° Brix	
T1	2.9	3.6
T2	3.2	3.3
T3	3.3	3.7

T4	2.8	3.3
T5	3.1	3.3
T6	2.8	3.5
T7	2.8	3.7
T8	3.3	4
T9	3	3.5
T10	3.3	3.5
TP	3.6	3.3
TA	1.9	2.2

En la figura 28 se muestra el promedio de los ° Brix de los frutos al final del ciclo de producción (otoño – invierno), en la cual podemos observar que los tratamientos que presentan fertilización tienen mayor ° Brix.

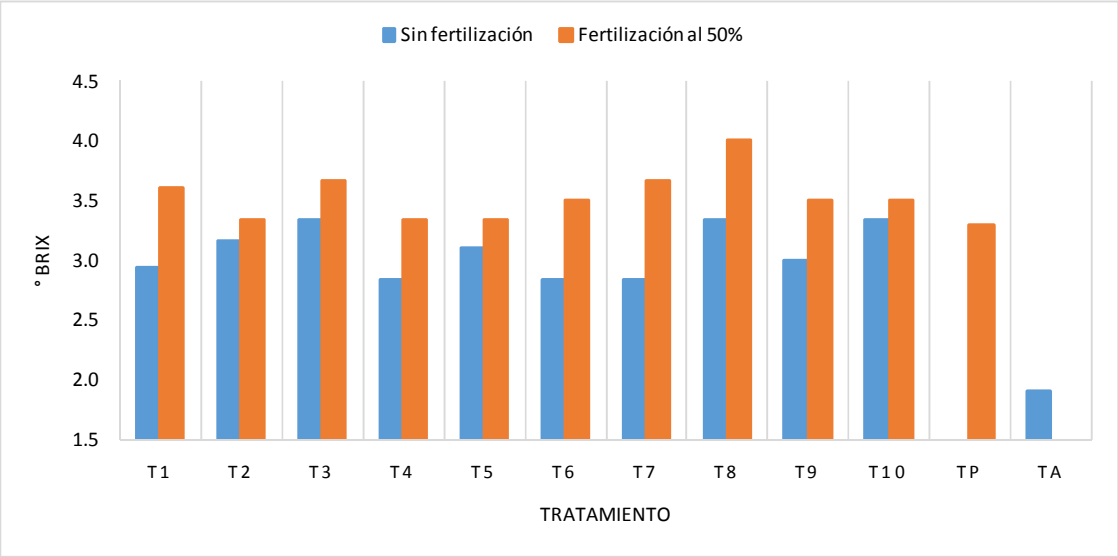


Figura 28.- ° Brix por tratamiento.

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que solamente el nivel de fertilización fue significativo para esta variable respuesta ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias

con la prueba de Tukey, con la cual se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre el nivel de fertilización al 50 % y el nivel sin fertilizar (Tabla 36).

Tabla 36.- Comparación de medias de los ° Brix del tomate con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (° Brix)	
50	3.54	A
0	3.07	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey P ≤ 0.05).

En la figura 29 se muestran los tratamientos con productos biorracionales, comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción, respecto a la variable respuesta de ° Brix.

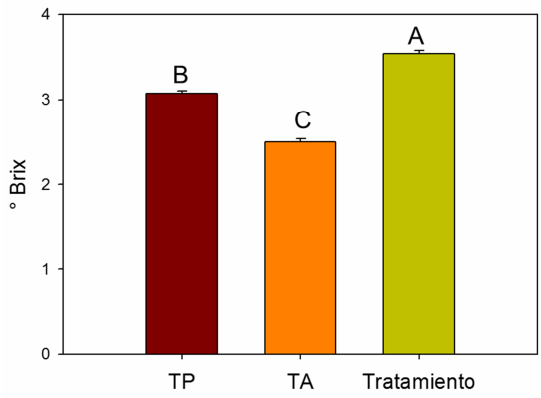


Figura 29.- Comparación de ° Brix en el fruto, tratamiento con productos biorracionales como testigos.

4.2.5 Número de frutos

Todos los frutos fueron etiquetados, de acuerdo al tratamiento con productos biorracionales que tenían, al final del ciclo de producción otoño – invierno, se contaron uno a uno para poder sacar el número total de frutos por planta (Tabla 37).

Tabla 37.- Número de frutos por tratamiento.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Número de frutos	
T1	9	25
T2	12	22
T3	8	22
T4	9	21
T5	11	21
T6	10	21
T7	8	22
T8	12	32
T9	6	22
T10	12	22
TP	18	16
TA	12	8

En la figura 30 se muestra el promedio del número de frutos del ciclo otoño – invierno, por tratamiento y del mejor nivel de fertilización del ciclo pasado, primavera – verano (50 %), en la cual se puede observar que el tratamiento 8 con fertilización es el que presenta mayor número de frutos.

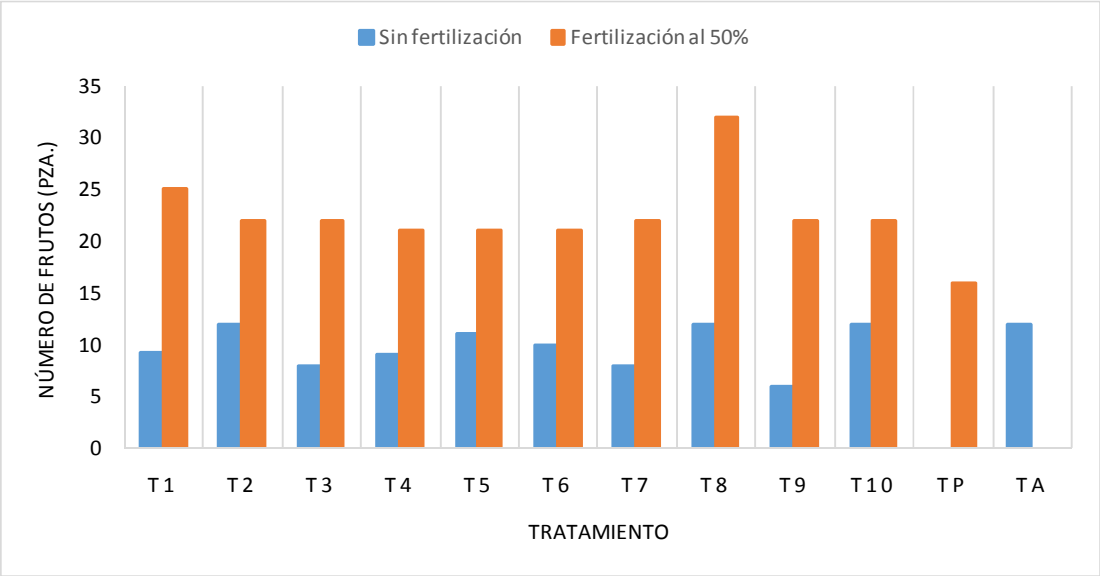


Figura 30.- Número de frutos por tratamiento.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del número de frutos, del ciclo otoño – invierno, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el nivel de fertilización y el tratamiento con productos biorracionales son significativo para esta variable respuesta.

A partir de los resultados estadísticos obtenidos se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 38) y los distintos tratamientos (Tabla 39).

Tabla 38.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización, (ciclo otoño – invierno).

% de Fertilización	Media (pza.)	
50	22.93	A
0	9.86	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

Tabla 39.- Comparación de medias de los números de frutos de las plantas de tomate con respecto a los tratamientos con productos biorracionales, (ciclo otoño – invierno).

Tratamiento	Media (Pza.)	
T8	22.33	A
T1	17.16	B
T10	17.00	B
T2	16.66	B
T5	15.83	B
T6	15.50	B
T4	15.16	B
T7	15.16	B
T3	15.16	B
T9	14.00	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

El nivel de fertilización, así como el tratamiento con productos biorracionales tuvieron diferencia significativa para esta variable respuesta (número de frutos), observando que el mejor tratamiento con productos biorracionales es el tratamiento 8.

En la figura 31 se muestra el mejor tratamiento T8 (66.7 % A, 16.7 % B, y 16.7 % C), con el mejor nivel de fertilización del ciclo pasado (primavera – verano), comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción.

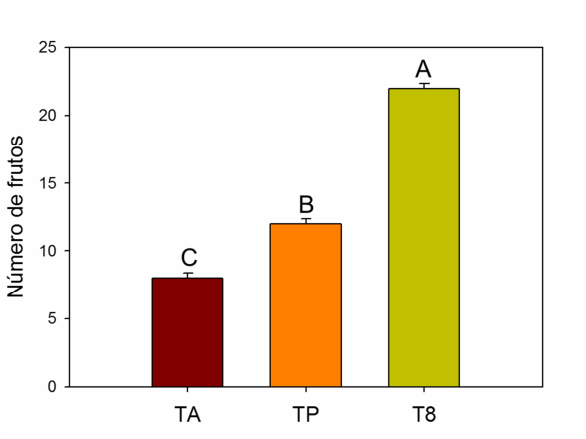


Figura 31.- Mejor tratamiento comparado con los testigos para la variable respuesta del número de frutos

4.2.6 Peso promedio de frutos

Para esta variable respuesta, se etiquetaron todos los frutos del ciclo otoño – invierno, de acuerdo al tratamiento biorracional con el que estaban inoculados, y al nivel de fertilización, se pesaron uno a uno en la balanza y se sacaron promedios (Tabla 40).

Tabla 40.- Peso promedio de los frutos por tratamiento.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Peso promedio de los frutos (g)	
T1	89.59	89.55
T2	88.24	96.11
T3	78.64	102.81
T4	86.85	97.63
T5	88.78	97.65
T6	88.42	98.44
T7	89.93	102.52
T8	81.81	96.62
T9	77.49	101.23

T10	88.143	94.22
TP	96.51	91.41
TA	64.16	78.66

En la figura 32 se muestra el promedio del peso de los frutos de tomate por tratamiento y por nivel de fertilización al final del ciclo de producción, se puede observar que los pesos entre los distintos tratamientos son similares.

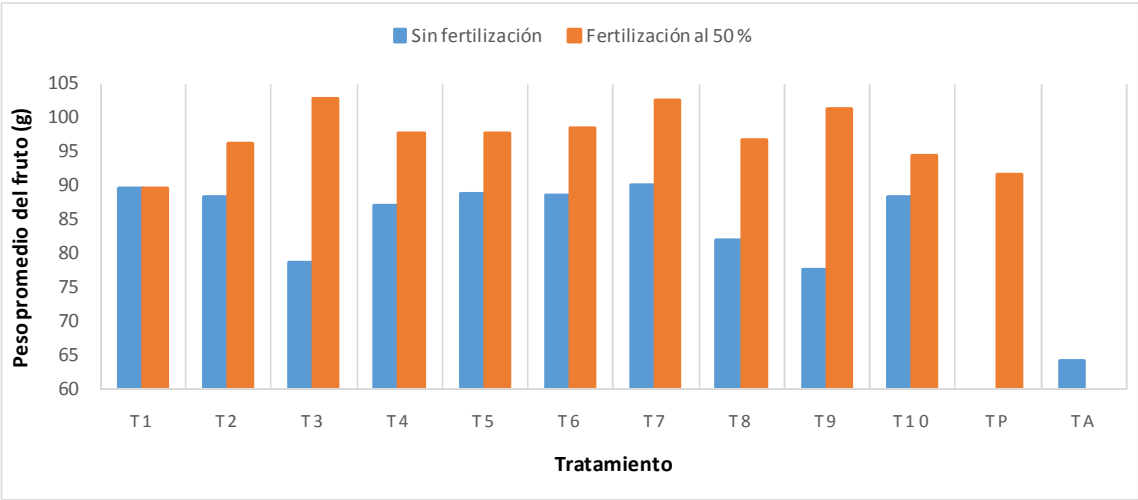


Figura 33. Peso promedio de frutos por tratamiento.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del peso promedio de frutos, ciclo otoño – invierno, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el tratamiento con productos biorracionales no es significativo para esta variable respuesta. Mientras que el nivel de fertilización si es significativo.

A partir de los resultados estadísticos obtenidos se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 41).

Tabla 41.- Comparación de medias de peso promedio de los frutos de las plantas de tomate con respecto al nivel de fertilización, (ciclo otoño – invierno).

% de Fertilización	Media (g)	
50	97.67	A
0	85.78	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

4.2.7 Rendimiento total

Para esta variable respuesta, se etiquetaron todos los frutos del ciclo otoño – invierno, de acuerdo al tratamiento biorracional con el que estaban inoculados, y al nivel de fertilización, se pesaron todos los frutos de un mismo tratamiento y de un mismo nivel de fertilización, para obtener el rendimiento total (kg/m^2), (Tabla 42).

Tabla 42.- Rendimiento total del ciclo otoño – invierno.

	Sin fertilización	Fertilización al 50%
Tratamiento	Rendimiento total (kg/m^2)	
T1	2385.4	8989.58
T2	2914	8291.05
T3	2136.5	8002.81
T4	2328.05	8333.29
T5	2793.92	7648.215
T6	2441.98	7956.72
T7	2118.33	7921.61
T8	3014.81	11548.84
T9	2379.35	8089.67
T10	2641.18	8341.085
TP	6532.56	6847.78
TA	1589.89	1863.76

En la figura 33 se muestra el rendimiento total de los frutos de tomate por tratamiento y por nivel de fertilización al final del ciclo de producción, en la cual se puede apreciar que el mejor tratamiento es el 8.

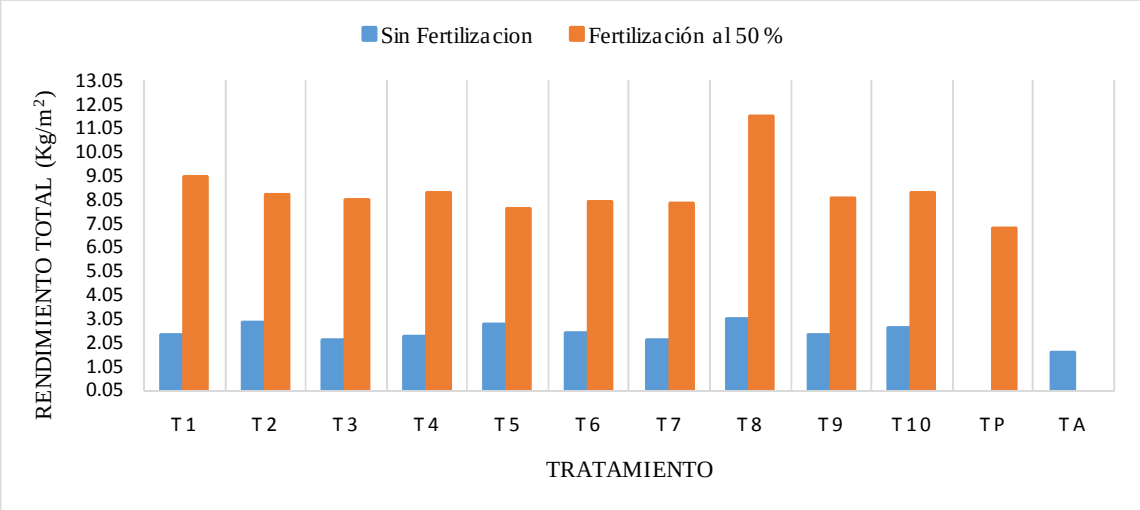


Figura 33.- Rendimiento total del ciclo de producción.

Los datos que se obtuvieron de la variable respuesta del rendimiento total ciclo otoño - invierno, se analizaron en el paquete estadístico Minitab versión 16, los resultados de los análisis de varianza mostraron que el tratamiento con productos biorracionales, así como el nivel de fertilización son significativos para esta variable respuesta.

A partir de los resultados estadísticos obtenidos se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey, para los tratamientos con productos biorracionales (Tabla 43) así como para los diferentes niveles de fertilización (Tabla 44).

Tabla 43 .- Comparación de medias del rendimiento total con respecto al nivel de fertilización.

% de Fertilización	Media (kg/m^2)	
50	8.512	A
0	1.456	B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey P ≤ 0.05).

Tabla 44.- Comparación de medias del rendimiento total con respecto a los tratamientos con productos Biorracionales, ciclo otoño – invierno.

Tratamiento	Media (kg/m^2)		
T8	6,781.82	A	
T1	5,187.48	A	
T2	5,102.52		B
T10	4,991.13		B
T4	4,830.65		B
T5	4,721.07		B
T6	4,699.35		B
T3	4,569.65		B
T7	4,519.97		B
T9	4,439.78		B

Letras diferentes, indican diferencias significativas (Tukey P ≤ 0.05).

En la figura 34 se observa el rendimiento a partir del nivel de fertilización en el ciclo otoño – invierno, en la cual se puede apreciar el mayor rendimiento que se obtuvo con la fertilización al 50 %.

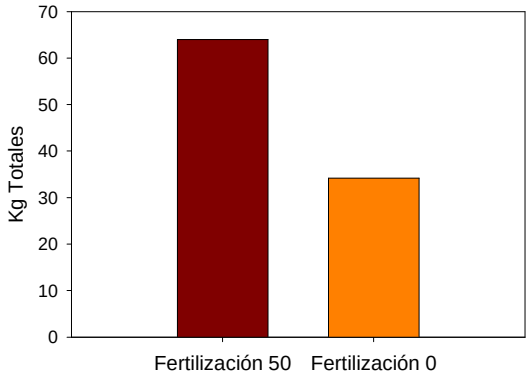


Figura 34.- Producción total vs. nivel de fertilización

En la figura 35 se observa el mejor tratamiento con productos biorracionales, T8 (66.7 % A, 16.7 % B, y 16.7 % C) con un nivel de fertilización al 50%, comparados con el testigo absoluto y con el testigo de producción.

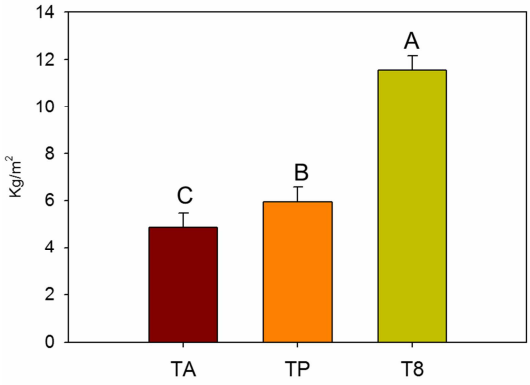


Figura 35.- Producción total vs mejor tratamiento de productos biorracionales y testigos.

En la tabla 45, se muestra un resumen de todas las variables respuestas evaluadas en el segundo ciclo de producción otoño – invierno, así mismo se muestras aquellos tratamientos que fueron significativos para algunas variables respuestas, y cuáles fueron los mejores tratamientos para este experimento 2

Tabla 45.- Resumen de variables analizadas, durante el ciclo otoño – invierno.

Variable Respuesta	Factor		Mejor Tratamiento
Altura de planta (cm)	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50
Peso radicular (g)	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50
Número de lóculos	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	NS	X
° Brix	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50
Número de frutos (pza.)	Tratamiento	*	T8
	Fertilización	*	50
Peso promedio de frutos (g)	Tratamiento	NS	X
	Fertilización	*	50
Rendimiento Total (kg)	Tratamiento	*	T8, T1
	Fertilización	*	50

NS: No Significativo

*: Significativo

5. DISCUSIÓN

En esta investigación se encontró una significancia en la interacción de los productos biorracionales con la fertilización convencional, en las variables respuestas tales como peso radicular, altura de planta, número de frutos, ° brix y rendimiento total.

Las plantas de tomate que fueron inoculadas con algún producto biorracional de forma individual o en mezclas y en combinación con algún nivel de fertilización convencional, mostraron un efecto favorable, aumentando hasta un 50 % del rendimiento total.

Con relación a las variables de número de frutos y rendimiento total, diversos autores (Terry *et al*., 2001; Alfonso *et al*., 2005; Premsekhar *et al*., 2009; Llonín *et al.,* 2010) coinciden que la inoculación con productos biorracionales aumenta la absorción de nutrientes, lo cual incrementa el crecimiento y rendimiento del tomate, independientemente del suelo y de las condiciones de producción.

Alfonso *et al.,* (2005), reporto 14 frutos por planta, mientras que Llonín *et al.,* (2010) reporto 17 frutos por planta, y en esta investigación el resultado fue mayor ya que se reporto 25 frutos por planta.

Para la variable de rendimiento Llonín *et al.,* (2010), reporto un rendimiento de 26.45 toneladas / hectárea, mientras que Alfonso *et al.,* (2005), en su investigación reporta un rendimiento de 35.12 toneladas / hectárea, los resultados obtenidos en esta investigación demuestran un mayor rendimiento (67.81 toneladas / hectárea) en comparación con lo reportado por los autores anteriores.

Así mismo los estudios de Banerjee *et al*., (2010) señalan que la inoculación de suelos o semillas con productos biorracionales, mejora el crecimiento y la producción de cultivos.

Por su parte, Irizar-Garza *et al.,* (2003) comprobaron que la aplicación de diversas combinaciones de hongos utilizados como biofertilizantes en diferentes plantas, tienen un efecto sinérgico en la nutrición de la planta y favorece el desarrollo vegetativo y reproductivo. Los resultados relacionados al aumento del número de frutos y de rendimiento total coinciden con los reportados por Llonin *et al.,* (2010), que señalaron que

a partir de una nutrición mineral con N, P y K en combinación con un hongo micorrizógeno (*Glomus fasciculatum*), hubo un incremento en el rendimiento total del tomate en comparación con solo fertilización convencional.

Los resultados obtenidos en esa investigación concuerdan con los estudios realizados por Alfonso *et al.,* (2005) donde plantas de tomate inoculadas con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, en combinación con 90 kg de N / ha, se obtuvo un mayor número de flores y frutos por planta, además de un mayor rendimiento. Estos resultados del aumento del rendimiento a partir de la combinación de una fertilización química con los productos biorracionales, concuerdan también con lo reportado por Nanthakumar y Veeraragavathatham (2001), donde ellos registraron un mayor rendimiento en tomates con la aplicación de *Azospirillum* en combinación con 75 % nitrógeno y 100 % potasio y fósforo. De la misma manera también coinciden los resultados obtenidos en esta investigación con lo reportado por Terry *et al.,* (2001), quienes encontraron un mayor número de frutos y un rendimiento sobresaliente con la aplicación de 30 $kg.ha^{-1}$ N. en combinación con la inoculación a las plantas con *Azospirillum brasilense Sp* 7 y *Glomus clarum*.

Wakelin *et al.* (2004) indicaron que la utilización de los productos biorracionales ha sido exitosa y puede emplearse como alternativa a la fertilización convencional y coinciden con lo reportado por Patiño (2010) en que la inoculación de *Peniciliiu bibilae* y *Radicum* ha tenido efectos benéficos a las plantas (o en las zonas de cultivo) en las cuales ha sido utilizado como biofertilizantes.

La variable de peso de raíz con la aplicación de los productos biorracionales tuvo significancia entre las plantas que se inocularon y sin inocular, sin embargo no se encontró diferencia estadística significativa entre los distintos tratamientos con productos biorracionales, esto coincide con Aguilar (2016) donde señala que en un estudio se evaluó plantas de tomate inoculadas con productos biorracionales, obteniendo una respuesta positiva en el desarrollo del sistema radicular además de incrementar la eficiencia de la absorción de nutrientes.

Por su parte Richardson y Simpson (2011) señalan que los microorganismos que se encuentran en la rizósfera aumentan el crecimiento de raíces o estimulan el crecimiento del pelo radicular a través de la producción de fitohormonas, o la alteración de la membrana de la superficie de la raíz, de igual manera pueden excretar enzimas con actividad fosfatasa que hidrolizan mono, di y tri ésteres de fosfato y ácidos orgánicos los cuales incrementa la disponibilidad del P, como lo indican Graham y Miller (2005).

Díaz-Zorita y Fernández (2008) indicaron que la incorporación de organismos como productos biorracionlaes, son una alternativa para lograr aumentos en el desarrollo y producción de los cultivos, favoreciendo el crecimiento radical para mejorar la disponibilidad de agua y nutrientes limitantes, como resultado se reduce el proceso de pérdida de nutrientes móviles, se moderan los periodos de estrés hídrico y se logra mantener un crecimiento activo del cultivo mejorando su capacidad fotosintética.

Para la variable de altura de planta se mostró diferencia significativa aumentando un 25 % entre las plantas inoculadas con productos biorracionales en comparación con aquellas sin inocular, sin embargo no se encontró diferencia significativa entre los distintos tratamientos de productos biorracionales, esto coincide con lo reportado por Premsekhar y Rajashree (2009) que indican que hay diferencias significativas entre los tipos de biofertilizantes y su combinación con fertilizantes inorgánicos, también mencionan que la altura de la planta, es considerada un factor importante para juzgar el vigor, el cual aumentó de manera significativa con la aplicación de los biofertilizantes. Nanthakumar y Veeraragavathatham (2001) mencionan que el aumento en caracteres de crecimiento de la planta, podría ser debido al hecho de que el *Azospirillum* inocula las raíces de las plantas las cuales son capaces de absorber los nutrientes de la solución a velocidades más rápidas que las plantas no inoculadas, esto resulta en la acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en los tallos y hojas.

El aumento de la captación de N disponible influyó en las características de crecimiento, ya que N es el principal constituyente de proteína esencial para la formación de protoplasma,

que conduce a la división celular, la ampliación celular y en última instancia dando como resultado el incremento del crecimiento de las plantas y el rendimiento.

El uso de los productos biorracionales como se mostro en esta investigación, ayuda a mejorar la absorción de nutrientes y por consiguiente el aumento en los rendimientos de los cultivos, sin embargo por si solos no logran tener un rendimiento significativo, por tal motivo para tener mejores rendimientos es necesario la combinación con una fertilización convencional.

6. CONCLUSIONES

De los resultados descritos durante el periodo primavera - verano (experimento 1), se concluye que la interacción de las plantas inoculadas con los productos biorracionales, así como la cantidad de fertilizante fueron significativas en las variables de altura de la planta, ° brix, peso radicular, número de frutos, peso de frutos y sobre el rendimiento total.

El tratamiento T5 (50 % Glumix y 50 % AZ Seed) y el T7 (33 % de Glumix, 33% de Natucontrol y 33 % de AZ Seed) con una fertilización al 50 % fue donde se obtuvieron los mejores resultados con respecto a la mayoría de las variables respuestas evaluadas.

Durante el periodo otoño – invierno (experimento 2), en el cual se tomó de referencia el mejor nivel de fertilización del ciclo pasado (fertilización al 50%), se puede concluir en base a los resultados obtenidos que las plantas inoculadas con los productos biorracionales fueron significativas sólo en las variables respuesta número de frutos y en el rendimiento total.

El tratamiento T8 (66.7 % Glumix, 16.7 % Natucontrol, y 16.7 % AZ Seed), fue donde se obtuvieron los mejores resultados con respecto a las variables respuestas de número de frutos (29), y rendimiento total (67.81) para el tomate saladette.

El tratamiento y la cantidad de fertilizante fueron significativas en la variable respuesta de producción sin embargo las variables altura de la planta, número de lóculos y el peso promedio de los frutos no fueron significativos para este proyecto.

El uso de productos biorracionales, en combinación con una fertilización convencional al 50 % fue donde se obtuvieron los mejores resultados con respecto al rendimiento total.

A pesar de que no se concluyó sobre una misma mezcla de productos biorracionales en ambos ciclos de producción se observo que las mezclas con mejores resultados son en las que se agregó glumix en mayor proporción.

El uso de los productos biorracionales es un recurso amigable con el medio ambiente, es de menor costo y es una alternativa para disminuir las grandes cantidades de la aplicación de fertilizantes químicos, obteniendo resultados similares.

Se recomienda realizar nuevamente este experimento, en condiciones de un invernadero de mediana o alta tecnología para tener mayor control de las variables (humedad, temperatura, riegos y condiciones climatológicas).

7. REFERENCIAS

Gonzáles. H. 2011. Contaminación por fertilizantes “un serio problema ambiental”

Weaver, R. 1974. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Editorial Trillas, México.

Villa, C. M. M., V. E. Catalán, I. M. Inzunza y L. A. Román. 2005. Manejo de la fertilización en plántulas de tomate para trasplante. Agrofaz. 5(3): 1-4.

Weyers, J. and N. Paterson. 2001. Plant hormones and the control of physiological processes. New Phytologist 152:375-407.

Castellanos, R. J. y J. L., Reyes. 1982. La utilización de los estiércoles en la agricultura. Asociación civil de Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, sección laguna. Torreón, Coahuila, México. pp 154.

Cánovas, M.F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo. En: Nuez, F. El cultivo del tomate. EdicionesMundiprensa. 227-254.

Steiner, A.A. “A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition” Plant Soil 15: 134-154, 1961.

Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. Acta Hort. 361: 245-257. Adams, P. and L.C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cutivars to blossom-end rot in relation to salinity. J. Hort. Sci. 67: 827-839.

Eiras, A. E. y M. C. Resende. 2009. Preliminary evaluation of the “Dengue-MI” technology for Aedesaegypti monitoring and control. Cad. Saúde Pública 25(1): S45-S58.

Polack, A. and M. Mitidieri. 2002. Producción de tomate diferenciado. Protocolo preliminar de manejo integrado de plagas y enfermedades. Información para extensión. 16 pp. INTA San Pedro, Argentina.

García, G. C. y Tamez, G. P. 2012. Mercado de bioinsecticidas en México. Curso de agricultura orgánica y sustentable. Fundación Produce Sinaloa. pp: 99-114.

Venkataraman, G.S. and Shanmugasundaram, S. (1992). Algal biofertilizers technology for rice. DBT Centre for BGA. Bio-fertilizer, MaduraiKamraj University, Madurai, 625021, T.N.

Wani, S.P. and Lee K.K. 2002. Population dynamics of nitrogen fixing bacteria associated with pearl millet (*P. americanum*L.). In biotechnology of nitrogen fixation in the tropics. University of Pertanian, Malaysia, 21-30.

Arun K.S. 2007. Bio-fertilizers for sustainable agriculture. Mechanism of P-solubilization. Sixth edition, Agribios publishers, Jodhpur, India, pp.196-197.

SubbaRoa, N.S. 2001. An appraisal of biofertilizers in India. The biotechnology of biofertilizers (ed.) S.Kannaiyan, Narosa Pub. House, New Delhi (in press).

Roger, P.A., and Ladha J.K. 1992. Biological N2 fixation in wetland rice fields: estimation and contribution to nitrogen balance. *Plant Soil*141:41-5.

Raghu K, Macrae IC. 2000. Occurrence of phosphate-dissolving microorganisms in the rhizosphere of rice Plants and in submerged soils. *J. Appl. Bacteriol*29:582–6.

Mosse, B., Stribley, D.P., and Le Tacon, F. 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Advance in MicrobialEcology*5:137-210.

Katyal, J.C. and Rattan, R.K. 1993. Distribution of zinc in Indian soils. *Fertilizer News* 38(6): 15-26.

Raj. S. A. 2007. Bio-fertilizers for micronutrients. *Biofertilizer Newsletter* (July), pp 8-10.

Ibarra-Flores. 2012. Uso de biofertilizantes en la producción de grano y forraje de maíz en Durango. Libro técnico Núm. 7. Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. México.

Alemán-Martínez, V. 2006. Efecto de los niveles de composta y hongo micorrízicoarbuscular en el desarrollo y crecimiento de frijol Phaseolusvulgaris L. Tesis de Maestría. Universidad de Colima, Colima. México.

Rodríguez, Y., B. De la Noval Pons, F. Fernández Martín, P. Rodríguez Hernández. 2004. Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicosarbusculaes en su interacción con el tomate (Lycopersiconesculentum M. var. “Amalia”). Ecología Aplicada 3: 162-171.

Ferrera-Cerrato, R., A. Alarcón. 2007. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Trillas. México.

Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., (2012). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Revisa Mexicana de Ciencias Agrícolas, 26(2), 191-203.

Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México 26: 191-203.

Windham MT, Elad Y, Baker R (1986) Mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. Phytopathol 76: 518–521

Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC (2004) Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. Intl Microbiol 7:249–260

Harman GE (2006) Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathol 96:190–194

Fundacion Produce Sinaloa. 2006. Memoria Agricultura orgánica. Memorias del Curso Eco Agro de de Agricultura Orgánica. Fundación produce Sinaloa. Guamúchil,Sinaloa, México. pp. 7-9.

Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from fi eldapplied beef cattle feedlot manure or compost. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:2024-2030.

Kannangara, T., R.S. Utkhede, J.W. Paul y Z.K. Punja. 2000. Effects of mesophilic and thermophilic composts on suppression of Fusarium root and stem rot of greenhouse cucumber. Can. J. Microbiol. 46:1021-1028.

Litterick, A.M., L. Harrier, P. Wallace, C.A. Watson and M. Wood. 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production – a review. *Critical Reviews in Plant Science*, 23(6):453-479.

Armenta, B.A.D., García, G.C., Camacho, B.J.R., Apodaca, S.M.A., Montoya, L.G., Nava, P.E., (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra-Ximhai (6), 51-56

Santillana, N., C. Arellano, D. Zúñiga. 2005. Capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). Ecología Aplicada1-2: 47- 51.

Elein Terry Alfonso, Ángel Leyva, Annia Hernández. (Diciembre 2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate. Rev. Colomb. Biotecnol., VII, 47 - 54.

Elein Terry, Miriam Núñez, María de los A. Pino y N. Medina. (2001). Efectividad de la combinación biofertilizantes análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate. Cultivos tropicales, 22, 59 -65.

Terry, A. E., G. A. Leyva. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. Agronomía Costarricense1: 65-73.

Santillana, V. N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas sp.*. Ecología Aplicada 1-2: 87-91.

Alvarez, K. P. M., B. Y. González**,** A. D. Reyes. 2008. Evaluación del empleo de micorrizas vesículo arbusculares combinadas con diferentes niveles de nitrógeno en tomate. Centro Agrícola 35: 15-18.

Coutinho, F., Cavalcanti M., Mayumi, A. (2012). Phosphatesolubilizing fungi isolated from a semiarid area cultivated with melon (cucumis melo L. cv. Gold mine) Acta Botánica Brasilica, 25(4), 929-931.

Desirée Llonín, N. Medina. (2002). Nutricion mineral con N, P y K en la simbiosis hongos micorrizógenos – tomate en ferralsols. Cultivos tropicales, 23, 83 – 88.

Cáceres, E. 1984. Producción de hortalizas. Instituto de cooperación para la agricultura de Costa Rica. pp 387.

Benton, J. J. 2008. Tomato plant culture: In the field, greenhouse and home Garden 2nd Edition CRC press Taylor and Francis Group.

Castilla-Prados, N. 2001. Manejo del cultivo intensivo con suelo. *In* El cultivo del tomate. Ed. F. Nuez. Ediciones Mundi-Presa Cap 6. pp 189-220.

Hurd, R.G. and Graves, C.J. 1985. Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. Journal of Horticultural Science 60: 359-371.

Sawhney, V.K. and Polowick, P.L., 1985. Fruit development in tomato: the role of temperature. Canadian Journal of Botany 63: 1031-1034.

Adams, S.R., Cockshull, K.E. and Cave, C.R.J. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. Annals of botany 88:869-877.

Pearce, B.D., Grange, R.I. and Hardwick, K. 1993b. The Growth of young tomato fruit. I. Environmental influences on glasshouse crops grown in rookwool or nutrient film. Journal of Horticultural Science. 68(1):13-23.

Fernández, J., González, A., Bañón, S., y Gallego, J. 1992. Cultivo de tomate en la región de murcia. Hortofruticultura. Junio: 29-34.

Samaniego-Cruz, E., Quezada-Martín, M., De la Rosa-Ibarra, M., Munguía-López, J., Benavides-Mendoza, A. y L. Ibarra-Jiménez. 2002. Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrociencia, 36 (3): 305 – 318.

Tognoni, F. 2000. Temperatura y Radiación. In Memoriam: Curso Internacional de ingeniería, manejo y operación de invernaderos para la producción intensiva de hortalizas. Instituto Nacional de capacitación para la actividad agrícola (INCAPA). Guadalajara, Jal. México. Pp. 12 – 27.

Geiger, D. R. and J.C. Servaites. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in c3 plants. Ann. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol. 45: 235 256.

Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. Ann. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol. 46: 289 – 315.

Ocaña, R.C. 2004. Ventajas competitivas y comparativas. El tomate en México y Estados Unidos. En: Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas. 8:45-48.

Bringas, G.L.2004 Producción de tomates en climas extremos. En: Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas. 8:10-13.

Atherton, J.G. y Rudich, J. 1996. The tomato crop: A scientific basis for improvement. Chapman and Hall.

SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de Siembras y Cosechas. (2015)

SIAP. (2015). Obtenido de SIACON, programa informático y estadístico del SIAP. Disponible en http://www.siap.gob.mx/ Consultado el 7 de marzo del 2016.

FAO. (2015). Página web de la FAO. Producción a nivel mundial. Disponible en : www.fao.org/statistics/es/. Consultado el 2 de marzo del 2016