

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ciencias

Escuela Académico Profesional de Biología Microbiología

EVALUACIÓN DE REPUESTA DEL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* L.) A LA INOCULACIÓN CON *Azotobacter*
chroococcum y *Glomus* sp. EN CONDICIONES DE CAMPO, EN
POCOLLAY.

TESIS

Presentada por:

Bach. Elizabeth Fátima De la Cruz Condori

Para optar el título Profesional de:

BIÓLOGO MICROBIÓLOGO

TACNA – PERU

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

FACULTAD DE CIENCIAS

TESIS N°221

TITULO PROFESIONAL DE:
BIÓLOGO MICROBIÓLOGO

El Secretario Académico Administrativo de la Facultad de Ciencias certifica que con Resolución de Facultad N°7847-2014-FACI-UN/JBG ha designado como jurados para la sustentación de la Tesis “EVALUACIÓN DE RESPUESTA DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon sculentum* L.) A LA INOCULACIÓN CON *Azotobacter chroococcum* y *Glomus sp.* EN CONDICIONES DE CAMPO, EN POCOLLAY” el mismo que está conformado por:

Presidente: DR. SEGUNDO MANUEL ALVARADO CONTRERAS
Secretario: MBLGO. LUIS LLOJA LOZANO
Vocal: BLGA. LIDUVINA SULCA QUISPE


Para examinar y calificar el trabajo de Tesis sustentado en acto público el día 12 de agosto del 2014.

Presentado por la señorita Bachiller ELIZABETH FÁTIMA DE LA CRUZ CONDORI, de la Escuela Académico Profesional de Biología – Microbiología.

El jurado calificador, en forma secreta e individual se pronunció sobre el calificativo del trabajo expuesto y procedió a emitir el siguiente resultado: APROBADA por UNANIMIDAD con 3 votos a favor y promedio de 15 (Bueno).

Para ratificar lo detallado firman:


DR. SEGUNDO M. ALVARADO CONTRERAS
PRESIDENTE


MBLGO. LUIS LLOJA LOZANO
SECRETARIO


BLGA. LIDUVINA SULCA QUISPE
VOCAL

Dedico esta Tesis a Dios, a Mamafina, a mi maravillosa madre Yolanda, a mis hermanos Violeta y Antonio, a mi familia incomparable, a Renato, Alejandra y Charito y a mi amor Carlos que son mi mayor fortaleza para seguir siempre adelante y alcanzar mis sueños

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. BIOFERTILIZACIÓN	17
2.1.1. Importancia de la biodiversidad del suelo	18
2.1.2. Microbiología de la Rizósfera en la biofertilización	19
2.1.3. Beneficios de la biofertilización	22
2.2. ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE TOMATE	25
2.2.1. Origen	26
2.2.2. Descripción morfológica de la planta	26
2.2.3. Organización del tallo durante el crecimiento vegetativo y reproductivo	29

2.2.4. Morfología de la hoja	30
2.2.5. Desarrollo del Fruto	31
2.2.6. Maduración del Fruto	33
2.2.7. Aspectos del desarrollo del fruto que inciden en la producción	34
2.2.8. Requerimientos edafoclimáticos	35
2.2.9. Factores medioambientales que afectan el desarrollo del cultivo	38
2.2.10. Labores culturales	40
2.2.11. Crecimiento y desarrollo de la planta de tomate	42
2.2.12. Factores ambientales que influyen en crecimiento y desarrollo	44
2.3. GENERALIDADES DEL GENERO AZOTOBACTER SPP	46
2.3.1. Características	46
2.3.2. Clasificación taxonómica	50
2.3.3. Azotobacter y la asimilación de nutrientes	50
2.3.4. Investigaciones realizadas	52
2.4. GENERALIDADES DEL GÉNERO GLOMUS	56
2.4.1. Características	56

2.4.2.	Funciones y beneficios Glomus sp	60
2.4.3.	Glomus y la Asimilación de Nutrimentos	62
2.4.4.	Investigaciones realizadas	66
2.5.	RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL TOMATE	69
2.5.1.	Definición de la producción del tomate	69
2.5.2.	Producción mundial de tomate	70
2.5.3.	Producción nacional de tomate	73
2.5.4.	Producción regional de tomate	74
2.5.5.	Rendimiento del cultivo de tomate	74
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	76
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO	76
3.2.	MATERIAL EXPERIMENTAL	77
3.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	80
3.4.	VARIABLES	82
3.5.	METODOLOGÍA	83
3.5.1.	Preparación de terreno	83
3.5.2.	Preparación de almácigo	84
3.5.3.	Siembra en almácigo	84

3.5.4.	Transplante	85
3.5.5.	Preparación de Inoculantes y aplicación	85
3.5.6.	Cuidados del cultivo	87
3.6.	EVALUACION DE LA PRODUCCION	89
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	90
IV.	RESULTADOS	91
4.1.	ALTURA DE PLANTAS A LOS 30, 60 Y 90 DÍAS	91
4.2.	NÚMERO DE FRUTOS POR RACIMO	99
4.3.	NÚMERO DE RACIMOS POR PLANTA	101
4.4.	PESO UNITARIO DEL FRUTO (g)	104
4.5.	NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA	107
4.6.	PESO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA (kg)	110
4.7.	CALIBRE DEL FRUTO (cm)	113
4.8.	RENDIMIENTO (t/ha)	116
V.	DISCUSIÓN	119
VI.	CONCLUSIONES	127
VII.	RECOMENDACIONES	129
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	130
IX.	ANEXOS	146

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.	60
Características de la micorriza arbuscular (HMA)	
Tabla 2.	72
Producción mundial de tomates	
Tabla 3.	73
Producción nacional de tomates	
Tabla 4.	74
Producción regional de tomates	
Tabla 5.	91
Análisis de varianza, altura de planta de tomate a los 30 días	
Tabla 6.	92
Prueba de significación de Duncan, altura de planta 30 días	
Tabla 7.	93
Análisis de varianza, altura de planta de tomate 60 días	
Tabla 8.	94
Prueba de significación de Duncan, altura de planta 60 días	
Tabla 9.	96
Análisis de varianza de altura de planta de tomate, 90 días	

	Página
Tabla 10.	97
Prueba de significación de Duncan, altura de planta 90 días	
Tabla 11.	99
Análisis de varianza, número de frutos por racimo	
Tabla 12.	101
Análisis de varianza de número de racimos por planta	
Tabla 13.	102
Prueba de significación de Duncan, racimos por planta.	
Tabla 14.	104
Análisis de varianza de peso unitario del fruto (g)	
Tabla 15.	105
Prueba de significación de Duncan, peso unitario del fruto	
Tabla 16.	107
Análisis de varianza de número de frutos por planta	
Tabla 17.	108
Prueba de significación de Duncan, frutos por Planta	
Tabla 18.	110
Análisis de varianza de peso por planta (kg)	

	Página
Tabla 19.	111
Prueba de significación de Duncan, peso de frutos por planta (kg)	
Tabla 20.	113
Análisis de varianza de calibre del fruto (cm)	
Tabla 21.	114
Prueba de significación de Duncan de calibre del fruto (cm)	
Tabla 22.	116
Análisis de varianza de rendimiento (t/ha)	
Tabla 23.	117
Prueba de significación de Duncan de rendimiento (t/ha)	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.	76
Ubicación del área de estudio, parcela en Pocollay	
Figura 2.	81
Distribución de los tratamientos	
Figura 3.	93
Altura de planta a los 30 días	
Figura 4.	95
Altura de planta a los 60 días	
Figura 5.	98
Altura de planta a los 90 días	
Figura 6.	100
Número de frutos por racimo	
Figura 7.	103
Número de racimos por planta	
Figura 8.	106
Peso unitario del fruto (g)	

	Página
Figura 9.	109
Número de frutos por planta	
Figura 10.	113
Peso total de frutos por planta	
Figura 11.	115
Calibre del fruto (cm)	
Figura 12.	118
Rendimiento (t/ha)	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Evaluación de repuesta del cultivo de tomate (*Lycopersicum sculentum* L.) a la inoculación con *Azotobacter chroococcum* y *Glomus* sp. en condiciones de campo, en Pocollay”, se desarrolló con el objetivo de evaluar la respuesta productiva del cultivo de tomate, (*Lycopersicum sculentum* L) a la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus* sp. El tipo de investigación ha sido experimental, utilizándose el diseño de bloques completos aleatorios con 5 tratamientos y 4 repeticiones, los tratamientos fueron: T₄: Fertilización química; T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus* sp.; T₂: *Glomus* sp.; T₁: *Azotobacter chroococcum* y T₀: Testigo (sin aplicación), para el análisis de datos se empleó el análisis de varianza y para la comparación de promedios se utilizó la prueba de significación de Duncan al 95%. Los resultados evidenciaron que la mayor producción de tomate se logró con el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus* sp. (T₃) con 33,82 t/ha; seguido del tratamiento con Fertilización química (T₄) con 30,94 t/ha; la menor producción se obtuvo con el tratamiento de *Azotobacter chroococcum* (T₁) con 27,18 t/ha; y el testigo (T₀) con sólo 15,85 t/ha.

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas de más alto nivel de consumo y preferencia por la población peruana y mundial. Esta hortaliza es una de las más destacadas en la producción hortícola nacional, pues constituye por demás un sector de exportación y puede ser cultivada en todas las provincias del país.

La aplicación de biofertilizantes ayudaría a disminuir significativamente la aplicación de fertilizantes sintéticos y además pondría a disposición de la planta tanto macro como micro elementos para una nutrición balanceada. De igual forma se vería incrementado el rendimiento de frutos por tener a disposición permanente elementos nutritivos a lo largo de su desarrollo fenológico. Los suelos mejorarían su calidad con respecto a microorganismos que ayuden a la mineralización de elementos nutritivos requeridos por la planta e inclusive se podría lograr la recuperación de suelos en procesos de erosión o contaminación. Desde hace algunos años se vienen introduciendo en nuestro país el uso de biofertilizantes y bioestimulantes del crecimiento vegetal, y especial énfasis ha cobrado la utilización de bacterias rizosféricas del género *Azotobacter* y hongos micorrizogénicos (endomycorrizas) como *Glomus sp.*; principalmente

debido al papel crucial que éstas cumplen en la nutrición vegetal y su influencia en la actividad fisiológica de las plantas.

Los fertilizantes sintéticos han sido benéficos para el sector agrícola; no obstante, el abuso en su utilización genera residuos que producen salinización, problemas en el drenaje, compactación del suelo y disminución de la actividad microbiana comprometida en la nutrición vegetal. Cada año se incrementa la cantidad de fertilizantes aplicados debido a la menor eficiencia de adsorción en el suelo y absorción por la planta, aumentando los costos de producción. Asimismo, se genera un problema ambiental debido a la producción de gases tóxicos que se desprenden de los fertilizantes como los óxidos de nitrógeno que dañan la capa de ozono (Lara *et al.*, 2007).

Como una alternativa a los fertilizantes sintéticos está la posibilidad de utilizar bacterias del suelo, que como parte de su metabolismo incrementan la fertilidad y benefician a las plantas, por lo que se les ha denominado promotoras del crecimiento de las plantas (PGPRs). Entre sus actividades están la fijación del nitrógeno, solubilización de fosfatos, producción de hormonas, antibióticos y otros compuestos de importancia para el desarrollo de los cultivos.

En nuestro país y en el mundo se han realizado numerosas investigaciones acerca del efecto de estos bioproductos en el cultivo del tomate, y se han alcanzado resultados muy positivos; pero aún éstos no son suficientes para resolver la problemática del uso excesivo de fertilizantes sintéticos. Una de las principales críticas de la agricultura orgánica a la convencional, es que el uso de los mencionados fertilizantes sintéticos y técnicas incorrectas de preparación de terreno, han reducido drásticamente la vida de los suelos, su estructura y como consecuencia su fertilidad, afectando la producción de los cultivos. (Lara *et al.*, 2007).

Estudios a nivel mundial han demostrado que el uso indiscriminado de estos productos sintéticos tienen efectos negativos y colaterales sobre el medio ambiente, estos efectos van desde una alteración en la composición química del suelo hasta contaminación de las napas subterráneas que sirven como fuente hídrica para los mismos habitantes del sector agrícola y sus cultivos. Dada la importancia del cultivo de esta hortaliza, se prevee que en los próximos 50 años será necesario un incremento sin precedentes en la producción agrícola para satisfacer la gran demanda de la población mundial. El cultivo de tomate, por ende, requiere y requerirá de dosis altas de fertilizantes, por lo que es

imperativa la búsqueda de nuevos métodos de producción agronómica y económicamente sustentables para proteger el entorno, comprobando su utilización en suelos de nuestra localidad. Por lo tanto, la sustitución del uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados sintéticos (fuentes inorgánicas) por la fijación biológica del nitrógeno y solubilización biológica; contribuirá en la reducción de la contaminación del aire, suelo y agua dando una mejor alternativa de producción a los agricultores.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta productiva del cultivo de tomate, (*Lycopersicon esculentum* L.), a la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus* sp. en condiciones de campo en el distrito de Pocollay, provincia y región de Tacna.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Determinar que biofertilizante generará mayor rendimiento en el cultivo de tomate.

Determinar el tratamiento de mayor efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. BIOFERTILIZACIÓN

La biofertilización consiste en el uso de microorganismos para mejorar la fertilidad del suelo, como las bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico y hongos que viven en las raíces de las plantas. Los hongos micorrízicos forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas, logrando un beneficio mutuo. (Ruiz, 2001)

La planta mejora sus capacidades para la adquisición de agua y nutrientes a partir del suelo y su nivel de tolerancia a situaciones de estrés (sobre todo a la sequía) mientras que el hongo obtiene sustratos carbonados procedentes de la fotosíntesis. En ambientes con deficiencia de agua y nutrientes las hifas externas pueden conducir a un incremento en el crecimiento vegetativo y reproductivo de las especies vegetales. (Ruiz, 2001)

2.1.1. Importancia de la biodiversidad del suelo en cultivos

La biodiversidad es fundamental para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, a pesar de la erosión producida en la variabilidad de los organismos debido al impacto negativo del patrón de crecimiento agrícola, lo que ha provocado importantes pérdidas económicas y reduciendo la productividad y la seguridad alimentaria con el subsiguiente riesgo de aumentar los costes sociales.

La conservación de la biodiversidad debe ser integrada con las prácticas agrícolas, una estrategia que a la larga puede reportar enormes beneficios sociales, económicos y ecológicos. Las prácticas que conservan y usan de manera sostenible e incrementan la biodiversidad son necesarias en los sistemas agrícolas para asegurar la producción de alimentos, la calidad de vida y la salud de los ecosistemas (Thrupp, 2007).

La disposición especial de los agro-ecosistemas también parece jugar un papel, no evaluado en profundidad, en el mantenimiento o el aumento de la biodiversidad agrícola asociada, en efecto, parece lógico pensar que los efectos sobre la biodiversidad agrícola asociada y sobre algunos procesos ecológicos serán estimulados o atenuados mediante la

disposición espacial de los sistemas de producción. El objetivo final es el de estimular las interacciones biológicas benéficas entre los componentes de los agro-ecosistemas que deriven en la promoción de servicios y procesos ecológicos claves (Swift *et al.*, 2004).

2.1.2. Microbiología de la Rizósfera en la Biofertilización

La Rizósfera es la región inmediata más externa de la raíz, corresponde a una porción de suelo distinto del suelo edáfico, es una zona donde se concentra una alta actividad bacteriana, el número de bacterias encontradas en la rizósfera es mayor al encontrado en suelo sin raíces, debido a que la raíz genera una serie de sustancias nutritivas como azúcares, aminoácidos, vitaminas, entre otros. La rizósfera habitualmente se encuentra poblada por bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos.

Habitualmente las bacterias que habitan la rizósfera son fijadoras de nitrógeno y muchas de ellas tienen propiedades beneficiosas para la planta, logrando así una interacción bacteria-planta en donde forma un sistema de simbiosis en que la planta aporta sustancias nutritivas y la bacteria aporta nutrientes a la planta como Nitrógeno, Fósforo,

fitohormonas, vitaminas y sustancias antibacterianas capaz de marginar las bacterias fitopatógenas.

Algunos microorganismos del suelo son fundamentales en los ciclos biogeoquímicos y su aplicación como biofertilizantes ha sido utilizada para aumentar la producción de cultivos por muchos años. La rizósfera es un importante entorno ecológico del suelo para las interacciones planta-microorganismo; es el volumen de suelo adyacente a las raíces donde se presenta una intensa actividad microbiana. Tales interacciones asociadas a la rizósfera son determinantes para la sanidad de las plantas y la fertilidad del suelo, ya que allí habitan tanto microorganismos patógenos como benéficos (Hayat *et al.*, 2010).

El efecto rizósfera es más alto para las bacterias, seguido por los hongos. Estos microorganismos que habitan la rizósfera se pueden clasificar en grupos funcionales como bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, microorganismos solubilizadores de fósforo, microorganismos celulolíticos y amilolíticos, microorganismos proteolíticos y hongos micorrizales, entre otros. Se destacan entre las bacterias algunos grupos funcionales como amonificantes y nitrificantes (Osorio, 2011).

Igualmente, se deben considerar los mecanismos de interacción que existen entre diferentes grupos y las implicaciones en el manejo de sistemas de agricultura sostenible (Johansson *et al.*, 2004).

Las relaciones entre los ciclos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros ciclos biogeoquímicos y los grupos funcionales de microorganismos son altamente influyentes sobre el crecimiento, la productividad de las plantas y el ciclo de nutrientes, debido a que los microorganismos interactúan directamente con las raíces de las plantas (Matsumoto *et al.*, 2005).

Los microorganismos considerados como PGPRs (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) cumplen muchas funciones en el suelo, entre ellas, ayudan a solubilizar fosfato mineral y otros nutrientes, aumentan la resistencia de la planta al estrés, ayudan a estabilizar los agregados del suelo mejorando su estructura y el contenido de materia orgánica. Hay mayor retención de nitrógeno orgánico del suelo y otros nutrientes aumentado su liberación, lo cual contribuye a la reducción de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos (Hayat *et al.*, 2010).

Se han reportado también PGPRs en procesos de biorremediación de suelos, degradando e incluso mineralizando compuestos orgánicos recalcitrantes en asocio con plantas (Zhuang *et al.*, 2007).

2.1.3. Beneficios de la biofertilización para las plantas y suelo

- Promueven la salud de las plantas.
- Mejoran de la estructura del suelo.
- Son baratos y sencillos.
- Fortalecen del metabolismo de la planta, incrementando el crecimiento y favoreciendo su desarrollo.
- Corrigen deficiencias en micro-nutrientes.
- Estimulan la vida del suelo.
- Estimulan la creatividad y los saberes del agricultor.

Desde la perspectiva del rendimiento, los biofertilizantes producen sustancias muy activas que, al interactuar en su conjunto con el metabolismo vegetal, provocan diferentes efectos beneficiosos, entre ellos:

- Incremento en el número de plántulas que emergen.
- Acortamiento del ciclo de los cultivos entre 7 y 10 días.

- Aumento en los procesos de floración fructificación.
- Incremento entre 5 y 20% del rendimiento.
- Obtención de frutos con mayor calidad comercial (aspecto y tamaño) (Dibut, 2000).

Aunque el término biofertilizante se empleó inicialmente para facilitar el registro de cepas con fines comerciales, algunos autores mencionan que el término debería ser eliminado ya que sólo algunos microorganismos cumplen estrictamente con la función de incorporar nuevos nutrientes a los ecosistemas, básicamente los microorganismos fijadores de nitrógeno.

Los microorganismos poseen una gran diversidad de mecanismos a través de los cuales promueven el crecimiento de las plantas. En función de estos mecanismos se reconocen cuatro grandes grupos de microorganismos promotores del crecimiento vegetal:

- a. Microorganismos que incorporan nitrógeno al sistema planta-suelo mediante la fijación biológica de nitrógeno.

Los fijadores de nitrógeno más eficientes son bacterias que pertenecen a los géneros *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*,

Bradyrhizobium, *Azorhizobium* y *Allorhizobium* (Bloemberg y Lugtenberg, 2001).

b. Microorganismos que incrementan la captación de nutrientes y agua.

En esta categoría se pueden mencionar a las micorrizas que juegan un importante papel en absorción de agua, fósforo, zinc, azufre y cobre, y bacterias como *Azospirillum spp.*, que incrementan la capacidad de absorción de agua y nutrientes por las plantas mediante la estimulación de su crecimiento radical a través de la producción de hormonas.

c. Microorganismos que aumentan la disponibilidad de nutrientes que se encuentran en el suelo en formas no asimilables.

En esta categoría se incluyen microorganismos que solubilizan fósforo mediante la producción de fosfatasas o ácidos orgánicos (*Bacillus megaterium* o *Pseudomonas fluorescens*), bacterias oxidadoras de azufre que convierten azufre elemental o cualquier forma reducida de este elemento a sulfatos que son la forma aprovechable por las plantas, y microorganismos productores de sideróforos, como algunas

especies de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Flavobacterium* que incrementan la disponibilidad de hierro a las plantas.

- d. Microorganismos que poseen actividades antagónicas contra agentes fitopatógenos.

Este mecanismo se sustenta en el hecho de que una planta sana se alimentará y funcionará mejor, además de que será capaz de amortiguar más eficientemente el efecto de deficiencias nutricionales o el impacto de condiciones ambientales adversas. En este grupo se reconocen las propiedades de biocontrol de diferentes especies de *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Serratia*, *Flavomonas*, *Curtobacterium* y *Trichoderma*, entre otros. (Bloemberg y Lugtenberg, 2001).

2.2. ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE TOMATE:

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es la hortaliza cultivada más importante a nivel mundial y constituye el 72% de la producción de vegetales frescos. De acuerdo a los datos reportados por la FAO (Food and Agricultural Organization), los principales países productores de

tomate son: China, Estados Unidos, Turquía, Italia, Egipto e India y en Sudamérica los países de mayor producción son Brasil, Chile, Argentina y Colombia (FAOSTAT, 2012).

2.2.1. Origen

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), pertenece a la familia de las Solanáceas. Se cree que es originario de la faja costera del oeste en América del Sur, cerca de los 30° C latitud sur de la línea ecuatorial. En la región andina del Perú se encuentran, a lo largo y ancho, numerosos parientes silvestres y cultivados del tomate, también en Ecuador y Bolivia, así como en la Isla Galápagos. Estos parientes comestibles del tomate ocupan diversas condiciones ambientales basadas en altitud y latitud y, representan un amplio grupo de genes para el mejoramiento de la especie (Andeline, 1989)

2.2.2. Descripción morfológica de la planta

El tomate puede presentar básicamente dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado. La planta indeterminada es la normal y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y

sin límite. En ella, los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo. A diferencia de esta, la planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado. (Giacconi *et al.*, 2004)

La planta presenta una raíz pivotante y es capaz de alcanzar cerca de tres metros de profundidad y una extensión lateral de 1,5 metros. Cuando el sistema radicular sufre algún daño tiene la capacidad de emitir raíces adventicias en la porción basal del tallo (CORFO y Universidad Católica de Chile, 1986).

El tallo es anguloso, alcanza 4 cm de diámetro en su base y está recubierto por tricomas, en su mayoría de origen glandular y que le otorgan el olor característico. En las primeras etapas es erguido, luego debido al peso, toma un hábito rastroso (Maroto, 1994).

Las hojas están dispuestas alternadamente sobre el tallo, son compuestas e imparipinnadas, generalmente tienen de siete a nueve

foliolos lobulados o dentados y también están cubiertas de tricomas (Maroto, 1994).

La flor del tomate es perfecta. Los pétalos y los sépalos se encuentran dispuestos en forma helicoidal en un número de cinco o más. En cada inflorescencia se agrupan tres a diez flores formando el racimo floral (Rodríguez, Tabares y Medina, 1984).

El fruto es una baya, que dependiendo del cultivar, presenta distintos colores como rojo, rosado, violáceo o amarillo. De igual manera su forma varía desde achatada a pera. La superficie puede ser lisa o presentar surcos más o menos profundos (CORFO y U. Católica de Chile, 1986).

La semilla del tomate es de forma lenticular, con dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipócotilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable. La germinación de la semilla ocurre de manera fácil (Berenguer, 2003).

2.2.3. Organización del tallo durante el crecimiento vegetativo y reproductivo

Al inicio del crecimiento el tallo principal genera de 6 a 12 hojas en la porción proximal antes que la yema principal se transforme en una inflorescencia. Las hojas crecen lateralmente con una filotaxia 2/5.

El crecimiento reproductivo siguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual produce un tallo secundario que crece como una prolongación del primario, desplazando lateralmente la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de igual forma, generando una inflorescencia cada tres hojas (Chamarro, 1995)

El desarrollo del tallo es variable y está dado de acuerdo al cultivar, según esto existen dos hábitos de crecimiento: Primero el de tipo determinado, en el cual el crecimiento del eje principal está detenido por la formación de una inflorescencia terminal, después de haber formado una cierta cantidad de inflorescencias (dos o tres), cada una o dos hojas, y desarrolla fuertes brotes axilares desde la base del tallo y, segundo el de tipo indeterminado, en el que el alargamiento del eje principal es continuo y produce inflorescencias laterales frecuentemente cada tres hojas, durante gran parte de la vida de la planta (Kinet y Peet, 1997).

2.2.4. Morfología de la hoja

Las hojas del tomate son pinnadas compuestas de siete a 11 folíolos laterales y un gran folíolo terminal. Los folíolos laterales son usualmente peciolados, lobulados irregularmente y con bordes dentados. Las hojas de tomate son de tipo dorsiventral.

El tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior y otra inferior, las cuales no contienen cloroplastos. Inmediatamente debajo y perpendicularmente a la epidermis superior se encuentra el parénquima en empalizada, que posee en el citoplasma numerosos cloroplastos. El mesófilo esponjoso se encuentra situado entre el mesófilo en empalizada y la epidermis inferior, y contiene un número de cloroplastos cercano al del parénquima en empalizada. Los nervios primarios y secundarios tienen una estructura similar al tallo y poseen un floema externo y un floema interno (Chamarro, 1995).

Las hojas se originan a partir del primordio foliar, que aparece inicialmente como una pequeña protuberancia sobre la cúpula del ápice, creciendo cerca de 200 μm antes de los primeros signos de formación de los folíolos laterales (Ho y Hewitt, 1986). En cambio, el folíolo terminal se forma de

un meristema marginal a lo largo de los flancos del primordio, en el extremo distal. Los demás foliolos se desarrollan de forma similar, a partir de grupos de células que forman pequeñas protuberancias sobre los flancos del primordio (Chamarro, 1995).

La iniciación de las hojas se produce a intervalos de dos a tres días, en función de las condiciones ambientales (Chamarro, 1995).

2.2.5. Desarrollo del Fruto

El crecimiento acumulativo del fruto se puede representar en forma de una curva sigmoidea dividida en tres períodos. El período inicial dura cerca de dos semanas, durante el cual su crecimiento es lento. Es seguido por tres a cinco semanas de crecimiento rápido hasta el estado verde maduro. Finalmente, un período de crecimiento lento por dos semanas más, en el cual ocurren intensos cambios metabólicos (Chamarro, 1995).

La división celular está limitada a la fase inicial de crecimiento lento, durante la cual empieza la elongación celular. La tasa de crecimiento relativo del fruto alcanza su máximo hacia el final de la primera semana, y

luego declina durante el período de rápido crecimiento el que se origina únicamente de la elongación celular (Ho y Hewitt, 1986).

Durante el desarrollo de frutos de tomate la economía de hidratos de carbono está determinada por todos los aspectos que involucra la relación fuente-depósito en la planta. Esto implica que la producción de fotoasimilados se realiza en los órganos fuente, siendo posteriormente particionados en las hojas, transportados y exportados en forma de disacáridos a depósitos alternativos, y finalmente importados hacia los frutos depósitos y metabolizados en su interior. Aunque el nivel de hidratos de carbono en los frutos es producto de la interacción de todos estos procesos, el destino de los fotoasimilados que se importan a los frutos es controlado por el metabolismo propio de ellos (Schaffer *et al.*, 1999).

El tamaño final del fruto está estrechamente relacionado con el número y peso de las semillas, además del número de lóculos (Ho y Hewitt, 1986). Según Owen y Aung (1990), existe una relación lineal entre diámetro final del fruto y el diámetro del ovario en antesis.

2.2.6. Maduración del Fruto

Durante el período final de crecimiento lento del fruto, el color, sabor, aroma, textura y composición cambian marcadamente. Durante esta etapa, la respiración aumenta hasta alcanzar un nivel máximo llamado pico climatérico. Simultáneamente se produce un incremento en la producción de etileno, que tiene una profunda influencia en el desarrollo del proceso de maduración (Chamarro, 1995). La textura del fruto se modifica a través de la degradación de las paredes celulares por acción de varias enzimas, de las cuales, la más importante es la poligalactouronasa, resultando una textura blanda y jugosa. El cambio de color del fruto, empieza dos a tres días después del estado verde maduro, y se desarrolla progresivamente de amarillo a naranja y rojo, producto de la transformación de cloroplastos a cromoplastos con la acumulación de pigmentos (Grierson y Kader, 1986).

La calidad del fruto está principalmente representada por sus características de sabor y color. El sabor del tomate está determinado principalmente por los niveles de azúcares y ácidos. Los azúcares, glucosa y fructosa constituyen el 65% de los sólidos solubles totales del fruto. Por su parte, el ácido málico y cítrico representan el 13% de la

materia seca del fruto. Al inicio del crecimiento del fruto, predomina el ácido málico, mientras que el ácido cítrico sólo representa el 25% de los ácidos orgánicos. El pH del jugo maduro oscila entre 4 y 4,8 (Chamarro, 1995).

En los frutos de tomate, el color se forma básicamente por dos pigmentos carotenoides, siendo el licopeno el de mayor importancia frente al β -caroteno (Chamarro, 1995).

2.2.7. Aspectos del desarrollo del fruto que inciden en la producción

El éxito comercial de un cultivo de tomate no sólo depende de la cantidad de fruta cosechada, sino también de la calidad de los frutos. El rendimiento de una planta de tomate depende tanto del número como del peso de los frutos (Ho y Hewitt, 1986) y de la relación que exista entre ellos (Castro, 1991).

El mejoramiento en calidad se logra mediante el cruzamiento de distintos cultivares, y la cantidad de la fruta por el uso de tecnologías siendo un buen ejemplo, los invernaderos de condiciones ambientales controladas (Ho y Hewitt 1986).

El rendimiento final también está determinado por la relación entre el número y calibre de la fruta. Así por ejemplo, con raleo de frutos consistente en eliminar el 20% de ellos el calibre aumenta en un 6%, pero el rendimiento total disminuye en un 25% (Castro, 1991).

2.2.8. Requerimientos edafoclimáticos

- **Temperatura**

La temperatura óptima fluctúa entre 20 y 30° C durante el día y entre 1 y 17° C durante la noche. Las temperaturas mayores a 30 °C afectan la fructificación. (Infoagro, 2013).

- **Humedad Relativa:**

La humedad relativa óptima oscila entre 60 y 80%. La humedad relativa alta favorece el desarrollo de enfermedades, el agrietamiento del fruto y dificulta 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 edáfica o riego abundante tras un periodo de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Infoagro, 2013).

- **Luminosidad:**

La poca luminosidad afecta el proceso de floración, fecundación y el desarrollo vegetativo de la planta. La luminosidad mínima es de 1500 horas luz/año. En los momentos críticos durante el periodo vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Infoagro, 2013).

- **Suelos:**

El mejor suelo para el cultivo de tomate es el suelto de textura silíceo arcillosa y rico en materia orgánica, con pH entre 5,5 y 7,02. No tolera el encharcamiento. Lo más destacable en cuanto al suelo es que se trata de una especie con cierta tolerancia a la salinidad. De ahí que admita el cultivo en suelos ligeramente salinos o el riego con agua algo salitrosa.

Es un cultivo exigente en calcio y magnesio, no se adapta bien a los suelos pobres en calcio. Es bastante sensible a los excesos de humedad edáfica durante los períodos de maduración de frutos, aunque lo es más a la alternancia de períodos de estrés y de exceso. (Giacconi *et al.*, 2004)

- **Agua:**

Los requerimientos de agua varían dependiendo la variedad entre 300 y 1000 mm³.

La calidad del agua de riego es un aspecto muy importante. El utilizar agua con exceso de sales puede producir insolubilizaciones e incrustaciones en las tuberías y emisores que afectan a la instalación. El control debe establecerse mediante el análisis sistemático del agua. Los principales parámetros a considerar son:

- Conductividad
- pH
- Sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, boratos.
- Calcio, magnesio, sodio.
- Materia orgánica

El análisis del agua y la interpretación de los resultados debe considerarse desde el inicio. La planta de tomate crece bien en la solución suelo agua con pH de 5,5 a 6,8 con valores óptimos entre 6,0 y 6,8. En cuanto a conductividad eléctrica en general, aguas con conductividades superiores a 2,5 mS/cm (por cada gramo de sales que hay 1000 litros de agua) empiezan a crear algún tipo de problema. (Infoagro, 2013).

2.2.9. Factores medioambientales que afectan el desarrollo del cultivo

- **Efecto de la luminosidad en el crecimiento y desarrollo**

La integral de radiación diaria es más importante que la calidad de la luz y el fotoperiodo para el crecimiento de la planta de tomate (Picken, Stewart y Klapwijk, 1986). La floración del tomate no es muy sensible al prolongado del día, y usualmente es descrita como una planta de día corto cuantitativa (Ho y Hewitt, 1986), sin embargo, según Kinet y Peet (1997), el tomate es considerado como una planta de día neutro.

- **Efectos de la luz en la productividad**

La alta densidad de plantación utilizada en el tomate de invernadero tiene una fuerte influencia en la producción, debido a la competencia de las plantas por la luz. Con respecto a los diferentes materiales de cubierta usados en invernadero, se ha demostrado que una pérdida de 1% de luz equivale a 1% de disminución en la producción (Ho y Hewitt, 1986). Se ha demostrado que tanto el tamaño del fruto como el contenido de sólidos solubles están directamente relacionados con la radiación solar recibida, ya que ésta influye sobre la producción de fotoasimilados, los que

después serán dirigidos a los diferentes depósitos de la planta (Ho y Hewitt, 1986).

- **Efectos de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo**

Las temperaturas óptimas para el cultivo del tomate son de: 24 -25°C/15-18°C (día/noche). Bajo los 12°C se detiene el desarrollo vegetativo, y con temperaturas inferiores a los 7°C se necesita una ayuda artificial de calefacción (Rodríguez, Tabares y Medina, 1984). La temperatura promedio diaria determina la producción de tomate, la tasa de expansión del área foliar y el área foliar específica (De Koning, 1988).

La temperatura también controla los procesos de particionamiento de asimilados. Por ejemplo, cuando la temperatura del aire es de 30°C/24°C (día/noche), una mayor cantidad de asimilados se traslocan hacia los racimos a expensas del desarrollo radicular. Por otro lado, en condiciones de 17°C/12°C existe una mayor translocación hacia las raíces a expensas de los racimos (HO, 1996).

- **Temperatura en el desarrollo reproductivo**

La temperatura tiene una importancia fundamental en la velocidad de desarrollo de las flores después de su iniciación. Por ejemplo, las flores

de la primera inflorescencia se desarrollan más rápidamente a una temperatura media de 20°C que a 16°C, y además se promueve el desarrollo de la segunda inflorescencia (Calvert, 1964).

La tasa de crecimiento del fruto está directamente relacionada con la temperatura, cuyo rango óptimo nocturno es de 18 a 20°C (HO y Hewitt, 1986), pero esta relación está influenciada por los cambios en los niveles hídricos y en menor grado por la tasa de fotosíntesis neta. Con incrementos de temperatura se puede esperar una mayor actividad metabólica, y de esta manera una mayor entrada de carbono y agua, dando como resultado un aumento en la expansión celular. Por otro lado, el rendimiento de frutos se reduce por temperaturas del aire bajo los 18°C (HO y Hewitt, 1986).

2.2.10. Labores culturales

- a. Siembra: Las semillas se pueden sembrar directamente en la tierra del huerto, pero lo más habitual y recomendable, es hacer previamente un semillero o almácigo, es decir, sembrarlas en bandejas o macetas y luego, cuando tengan unos 15 cm trasplantar al suelo las plantitas.

De esta forma, adelantamos el periodo de cultivo, ya que los semilleros se pueden hacer a cubierto a finales de invierno, cuando todavía hace frío al aire libre (Nuez, 2001).

- b. Plantación de tomate: Se realiza un hoyo en el terreno de 10 a 15 cm e incorpora un buen abonado orgánico, mezclándolo homogéneamente. Es muy importante hacer este abonado, será la base alimenticia para el cultivo.
- c. Dosis orientativa de estiércol: 3 kilos por metro cuadrado. Si no usas estiércol animal, sirve el compost casero, mantillo u otros abonos orgánicos. (Nuez, 2001).
- d. Abonado: La fertilización se basa en el estercolado previo a la plantación (puede ser estiércol animal de vaca, oveja, caballo, compost, mantillo, etc.); nada más, con eso es suficiente.

El cultivo comercial hace uso intensivo de fertilizantes químicos para obtener una mayor producción, frutos más gordos y "bonitos", pero menos sabrosos. No obstante, si la tierra de cultivo fuese pobre en nutrientes o los primeros racimos de flor aparezcan pobres o las

hojas no crecen, tienes la posibilidad de hacer un abono de cobertera cuando las plantas estén ya instaladas en primavera aportando un fertilizante compuesto NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) (Nuez, 2001)

- e. Destallado: Una labor muy importante consiste en ir quitando los brotes que salen en las axilas de las hojas cada 10 días más o menos. Si no se los quitas, darán lugar a nuevos tallos, se formará una maraña de planta, y los tomates serán mucho más pequeños (Giacconi, 1985).

2.2.11. Crecimiento y desarrollo de la planta de tomate

Luego de la emergencia, la planta de tomate se desarrolla con un solo tallo, produciendo un número variable de hojas (5-10) antes de que la yema apical se transforme en una inflorescencia terminal de tipo racimo. El crecimiento continúa a través de las yemas axilares las cuales producen ramas que se desarrollan de la misma forma. En plantas de hábito indeterminado la yema de la axila de la hoja más joven (la inmediatamente inferior a la inflorescencia terminal) es la que continúa el crecimiento e inhibe la brotación de otras yemas axilares (al menos por un

período). Esta yema crece y mueve a la hoja más joven a una posición por encima de la inflorescencia la cual es desplazada hacia el costado, dando la apariencia de un crecimiento continuo del tallo principal. Luego de diferenciadas 3 o 4 hojas, esta yema se transforma en una segunda inflorescencia terminal.

Esta secuencia de crecimiento y desarrollo se repite indefinidamente durante todo el ciclo de la planta de hábito indeterminado. A la porción de tallo que incluye 3 o 4 hojas y un racimo se le llama “simpodio”. En las plantas de tipo determinado hay una fuerte brotación de yemas axilares y se producen menor número de hojas por simpodio, dando lugar al típico hábito arbustivo de estos cultivares. Por lo tanto, el hábito de crecimiento del cultivo de tomate varía entre dos tipos principales llamados “indeterminados” y “determinados”, sin embargo del punto de vista botánico ambos tipos son determinados, ya que la yema apical siempre se diferencia en una inflorescencia terminal. El tallo de tomate es herbáceo, no se lignifica, por lo tanto si no se utilizan estructuras de soporte y conducción (hilos, cañas, etc.) que sostengan a las plantas estas crecen de forma rastrera. (Nuez, 2001).

2.2.12. Factores ambientales que influyen en crecimiento y desarrollo

Los factores ambientales influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas por afectar su fisiología. En el marco de un sistema productivo, el ambiente que interesa al productor incluye principalmente al clima, al suelo y a las condiciones sanitarias. Dentro de los parámetros climáticos a su vez, los más destacados son: temperatura (de aire, de suelo, de hoja, etc), luz, CO₂ y humedad relativa. Ningún parámetro climático puede tratarse aisladamente, ya que todos interactúan de manera compleja sobre las plantas, pero vamos a referirnos en este artículo al caso particular de la luz. (Atherton, 1985).

La radiación solar cuando llega a los cultivos ya ha sufrido una serie de reducciones por diversos factores atmosféricos y por la nubosidad. Si este cultivo crece dentro de un invernadero el aporte de la radiación será aún menor pues la cubierta impone otra barrera. El tomate es una hortaliza exigente en luz, lo es durante todo su desarrollo, pero muy especialmente en las etapas vegetativas y de floración. (Atherton, 1985).

La luz interactúa fuertemente con la temperatura, y es así que para

niveles bajos de luz las temperaturas óptimas que favorecen al cultivo son distintas a las necesarias para niveles altos de luz. A su vez, cada combinación luz-temperatura necesita un rango determinado de CO₂ para llevar adelante la fotosíntesis de la manera más eficiente; y cada combinación luz-temperatura- CO₂ requiere de un rango apropiado de agua, y así sucesivamente se asocian todos los factores involucrados en la producción. (Atherton, 1985).

Diversos estudios han demostrado que cuando falta luz en las primeras semanas de desarrollo del tomate se resienten los rendimientos de forma irreversible, ya sea por menor producción de hojas (que son la fuente de asimilados para los frutos), por menor número de flores diferenciadas por racimo, por menor peso y tamaño de frutos formados o por mayor tiempo requerido para la maduración (lo que significa mayor tiempo de exposición del fruto a plagas, enfermedades, fisiopatías, etc.). (Berenguer, 2003)

Estos parámetros no se ven. Al recorrer un cultivo notamos enseguida el ataque de plagas y enfermedades o los síntomas de deficiencia de distintos elementos, pero no percibimos cuántas hojas, flores o frutos faltan por no haberse formado. (Berenguer, 2003)

2.3. GENERALIDADES DEL GENERO AZOTOBACTER SPP

2.3.1. Características

Las especies del género *Azotobacter* agrupan a bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, que están distribuidas en diferentes ambientes de suelo, agua y sedimentos (Aquilanti *et al.* 2004).

El *Azotobacter chroococcum* puede utilizar diferentes fuentes de nitrógeno inorgánico como amonio, nitrato, nitrito o dinitrógeno, este microorganismo realiza la asimilación del nitrógeno en tres pasos: transporte del nitrato hacia el interior de la célula, la reducción de nitrato a nitrito y la reducción de nitrito a amonio, sin embargo estos pasos requieren dos condiciones nutricionales la ausencia de amonio y la presencia de nitrato o nitrito.

Además de la fijación de nitrógeno y excreción de amonio al medio, esta especie tiene la capacidad de biodegradar compuestos tóxicos y contaminantes (Juárez *et al.*, 2004). Además de esto tiene la capacidad de degradar plaguicidas cloro aromáticos contaminantes como el endosulfan (Castillo *et al.*, 2005)

La primera especie del género fue descubierta en el año 1901 por el microbiólogo holandés Martinus Beijerinck empleando una técnica de enriquecimiento con un medio sin nitrógeno. Desde entonces éste se considera, junto con las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, uno de los géneros saprófitos más ampliamente estudiado debido principalmente a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Mrkovacki y Milic, 2001).

La especie *A. vinelandii*, en particular, ha sido empleada extensamente como modelo en estudios bioquímicos y genéticos de la fijación biológica nitrógeno (Dalton y Kramer 2006). Recientemente se realizó la secuenciación completa del genoma de esta especie (Setubal *et al.*, 2009).

Azotobacter, además de su empleo como PGPR, ha tenido otras aplicaciones de importancia biotecnológica, tales como la producción de surfactantes, a partir de la degradación de sustancias de desecho como suero de leche, aceites lubricantes para motores y aceites comestibles usados. Adicionalmente podría ser utilizado como biorremediador de

suelos, dada su capacidad de inmovilizar metales pesados tales como cromo y cadmio (Joshi *et al.*, 2009).

La capacidad de fijar nitrógeno de *Azotobacter* motivó principalmente a que se empleara como fertilizante bacteriano. Así, en 1926, investigadores rusos reportaron que la inoculación del suelo con esta bacteria tenía efectos positivos e importantes sobre el crecimiento de plantas de tabaco y la acumulación de nitrógeno en el suelo. Esto llevó a una fuerte tradición de inoculación con este género en Rusia, la que se extendió durante décadas (Kennedy e Islam, 2001). Sin embargo, numerosos ensayos a campo realizados entre 1958 y 1960, concluyeron que sólo en el 34% de los casos, *Azotobacter* incrementó el rendimiento de los cultivos y en valores menores al 10%. Así, la práctica de inoculación con *Azotobacter* fue abandonada. No obstante, otros investigadores continuaron reportando efectos positivos de esta bacteria sobre los cultivos (Becking, 2006).

Estas bacterias poseen células gramnegativas que pueden tener forma de cocos o bastones, con bordes redondeados o elipsoidales, de más de 2 μm de diámetro y 4 μm de longitud. Su morfología puede cambiar según las condiciones de cultivo.

Generalmente las células suelen agruparse de a pares, aunque a veces pueden estar aisladas o en cadenas de diferente longitud. Dependiendo de la especie pueden ser móviles por flagelos peritricos o no móviles. Son aerobias estrictas y pueden fijar nitrógeno tanto bajo tensiones de oxígeno reducidas como bajo condiciones aeróbicas.

Tienen la capacidad de formar estructuras de resistencia denominadas quistes, los cuales poseen cierta resistencia a la desecación y al daño causado por agentes físicos o químicos, y algunas especies pueden producir pigmentos. Desde el punto de vista de su metabolismo son quimioheterótrofas utilizando carbohidratos, alcoholes y sales de ácidos orgánicos como fuente de carbono, y pueden fijar 10 mg de nitrógeno por gramo de carbono en un medio definido conteniendo entre 1-2% de la fuente carbonada (Kennedy *et al.*, 2005)

Las especies del género *Azotobacter* se encuentran en diferentes condiciones climáticas y generalmente en suelos ligeramente ácidos a alcalinos (Kennedy *et al.*, 2005). También se ha reportado el aislamiento de *Azotobacter* de las hojas y otras superficies vegetales. El pH tiene una gran influencia sobre la distribución de *Azotobacter* en los suelos. Su

presencia suele ser mayor en suelos con pH mayor a 6,5, mientras que en suelos con pH menores de 6 no es común detectar a este género bacteriano (Martiniuk, 2003)

2.3.2. Clasificación taxonómica

Joint Genome Institute (2009) y Uniprot Consortium (2009) ubican a las bacterias del género *azotobacter* dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Dominio:	Bacteria
Phylum:	Proteobacteria
Clase:	Gammaproteobacteria
Orden:	Pseudomonadales
Familia:	Pesudomondaceae
Género:	<i>Azotobacter</i>
Especies;	<i>A. vinelandii</i> , <i>A. chroococcum</i> <i>A. beijerinckii</i>

2.3.3. Azotobacter y la asimilación de nutrimentos

La capacidad de fijación de la bacteria *Azotobacter* varía considerablemente en dependencia de la composición del medio nutritivo,

de su acidez, la temperatura y aireación, de la presencia de fuentes de nitrógeno combinado, de la naturaleza de la fuente de carbono y los microelementos (IDEMA, 2000).

Al estudiar el efecto de diferentes fuentes de carbono sobre la fijación del nitrógeno por el género *Azotobacter*, se puede encontrar que la productividad de la fijación dependía de la estructura de la sustancia orgánica, y de las reservas de energía química utilizable que contiene, siendo también importante los procesos de oxidación de la materia orgánica durante la respiración. (Pérez, 1997).

Varias sustancias pueden actuar como fuente de carbono, entre ellos los carbohidratos (monosacáridos, disacáridos y algunos polisacáridos), ácidos alifáticos y aromáticos, alcoholes, compuestos volátiles, etc. Las distintas especies y aún cepas dentro de una misma especie, pueden diferir en cuanto a las fuentes de carbono que utilizan. (Pérez, 1997).

En el suelo, estas bacterias pueden utilizar una amplia gama de compuestos orgánicos y de productos de descomposición de plantas y animales, en particular, se ha observado una intensa propagación de estos microorganismos en suelos donde hay mucha paja o compost que

contienen celulosa. Esto se podría explicar por la capacidad que tienen estas bacterias para asimilar las sustancias formadas en el sustrato durante la descomposición de la celulosa. Se ha comprobado que en suelos ricos en humus, cuando no hay residuos orgánicos frescos, la población de *Azotobacter* es pobre. (Pérez, 1997).

Viven en forma libre en el suelo y tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, cuando estas bacterias mueren se descomponen hasta nitrato, siendo esta forma como las plantas absorben y metabolizan el nitrógeno fijado por la bacteria (Mackie, 1999).

2.3.4. Investigaciones realizadas

Nicolalde (2010) en su investigación titulada "Utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno (*azotobacter*) y solubilizadoras de fósforo en el cultivo de brócoli (*Brassicae oleraceae* var. *legacy*) en Otavalo" la investigación se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia San José de Quichinche, en el sector de la Hacienda Pastaví, Ecuador. Los factores en estudio fueron: dos biofertilizantes (*Azototic* y *Azototic Plus*), y tres niveles de fertilización química. Los resultados obtenidos demuestran que la fertilización química con 180 kg N/ha, 60 kg

P₂O₅/ha con la dosis de 3ml/l de azototoc acelera la cosecha de las pellas de brócoli con 72.07% de cosecha a los 83 días con 59.5 plantas de las cuales se cosecharon 45.5 pellas de 16,32 cm de diámetro, resultando una producción de 21 TM/h.

Aycaya (2012) en su estudio denominado “Influencia de la biofertilización con *Azotobacter chroococcum* en la producción y calidad de cebolla rosada (*Allium cepa* L.) en el valle de Locumba” Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con 05 tratamientos experimentales formado por concentraciones de *A. chroococcum*: 10⁴; 10⁵; 10⁶; 10⁷; y 10⁸ UFC/ml; y 01 tratamiento control formado por la concentración 00 UFC/ml de *A. chroococcum*. Cada tratamiento con 04 bloques y cada bloque con 24 unidades experimentales. Cada planta de cebolla fue inoculado en 1 L de una suspensión de *Azotobacter chroococcum*, con una concentración de acuerdo al diseño experimental establecido. Se evaluó el rendimiento y calidad de la cebolla; la calidad en función de la altura de la planta, número de hojas, peso del bulbo y diámetro ecuatorial y polar del bulbo, concluyó que las concentraciones de *A. chroococcum* de 10⁵; 10⁶; 10⁷; y 10⁸ UFC/ml, permitieron obtener un mayor incremento en la producción de la cebolla rosada y las concentraciones *A. chroococcum* que permitieron obtener mayor calidad

con respecto a la altura y diámetro ecuatorial fue de 10^7 y 10^8 UFC/ml, con respecto al bulbo y diámetro polar fueron 10^6 , 10^7 y 10^8 UFC/ml y al número de hojas con 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 UFC/ml respectivamente.

Mamani E. (2010) en su trabajo de investigación titulado “Efecto de la coinoculación con *Azotobacter chroococcum* y *Glomus fasciculatum* en el rendimiento de dos especies de ají (*Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*) en condiciones del valle de Ite, Los factores en estudio fueron 2: factor A Especies de ají: escabeche y panca, y el factor B en base a biofertilizantes: Sin inoculantes, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus fasciculatum* y *Azotobacter chroococcum* + *Glomus fasciculatum*. Los resultados señalan que el mayor rendimiento en peso seco se obtuvo con la combinación de *Azotobacter chroococcum* + *Glomus fasciculatum* alcanzando el mayor promedio con 6,19 t/ha, seguido de *Glomus fasciculatum* con 5,97 t/ha y en tercer lugar el *Azotobacter chroococcum* con 5,67 t/ha, en el último lugar el testigo sin inoculantes con 4,83 t/ha. La especie que obtuvo el mayor rendimiento fue variedad Panca seguido de la variedad escabeche

Alarcón, *et al.* (2009) en su ensayo denominado “Efecto de diferentes concentraciones de *Azotobacter chroococcum* sobre algunos parámetros

del crecimiento y el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill)” con el objetivo de estudiar el efecto de diferentes concentraciones de la cepa comercial de *Azotobacter chroococcum* (INIFAT-12) sobre algunos parámetros del crecimiento y el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) variedad “ISCAB-10“. La cepa del bioproducto empleado mostró un alto grado de efectividad bajo las condiciones edafoclimáticas estudiadas, al lograrse incrementos significativos en cuanto a los parámetros morfofisiológicos estudiados y el rendimiento en comparación con el control (sin aplicación). Los mejores resultados se alcanzaron en las variantes experimentales, donde se aplicó el *Azotobacter chroococcum* en las más altas concentraciones, demostrándose su efecto biofertilizante y bioestimulante y la posibilidad real de su utilización como alternativa de fertilización en las condiciones actuales de producción, al lograrse un elevado efecto económico sobre este cultivo hortícola. La cepa de *Azotobacter chroococcum* aplicada influyó positivamente en el acortamiento del ciclo vegetativo del cultivo del tomate cv ISCAB-10, al provocar un inicio más precoz de la floración y de la maduración, asimismo Los resultados obtenidos demostraron la alta respuesta del cultivo del tomate a la aplicación del *Azotobacter chroococcum* en el suelo empleado, lográndose incrementos significativos

en la producción de masa seca total de la planta (76,8-104,9%) y en el rendimiento (29,93-50,52%) de la variedad IS CAB-10 estudiada.

2.4. GENERALIDADES DEL GÉNERO GLOMUS

2.4.1. Características

Los hongos micorrícicos forman una simbiosis con las raíces de la mayoría de las plantas, beneficiándose ambos organismos de tal asociación. La presencia del hongo en las raíces de la planta hace que esta mejore su capacidad para la adquisición de nutrientes a partir del suelo, así como su nivel de tolerancia a situaciones de estrés, mientras que el hongo heterótrofo se beneficia de los sustratos carbonados procedentes de la fotosíntesis y del nicho ecológico protegido que encuentra dentro de la raíz.

El desarrollo de productos de mayor calidad y los resultados favorables observados en ensayos de investigación posibilitaron que se incremente su uso, a la vez que despertaron interés sobre otros microorganismos como *Azospirillum*, *Pseudomonas* o micorrizas. Estos microorganismos están orientados a favorecer la adquisición de nutrientes por parte de los

cultivos, principalmente de gramíneas, a la vez de ejercer un efecto promotor del crecimiento que ayude a superar situaciones de estrés o simplemente logre incrementar su tasa de crecimiento en algún estadio importante para la definición de los rendimientos. En todos los casos cumplen con la condición de ser amigables con el ambiente, ya que son organismos que naturalmente se encuentran en la rizósfera de las plantas cultivadas, sólo que en estos casos se incrementa su población, la cual vuelve al nivel de equilibrio inicial luego de la senescencia del cultivo (Dibut, 2000).

La fisiología de las micorrizas, es uno de los temas que mayor atención ha recibido, lo cual ha ampliado el notable conocimiento sobre las interacciones entre los simbioses en términos de nutrición mineral, relaciones hídricas y los efectos hormonales. La asociación simbiótica entre los hongos del orden Glomales, y la mayoría de las plantas del tipo mutualista llamada micorriza arbuscular (MA), puede modificar el balance de reguladores de crecimiento como auxinas, citocininas, giberelinas y ácido absicico, las cuales favorecen el porte y vigor de las plantas colonizadas. (Carlile, 2001).

Las ventajas nutricionales que obtiene cada integrante de una asociación micorrízica, explica, en parte, el éxito de tal interrelación. Algunos hongos micorrízicos pueden producir auxinas o sea hormonas que estimulan el crecimiento de los vegetales, y otros producen antibióticos, esto ayuda a regular el micro ambiente alrededor de las raíces y contribuye a prevenir la infección de las plantas. Experimentalmente se demostró que los hongos micorrizicos proveen protección contra *Phytophthora infestans* (Carlile, 2001).

Una de las funciones más importantes de las micorrizas es absorber los elementos minerales menos móviles del suelo (fosfato, cobre zinc) y transferirlos a la planta hospedadora, así como amonio. La planta proporciona azúcares al hongo (Carlile, 2001).

Se conoce con el nombre de micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas y ciertos hongos del suelo. Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales.

Las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas y se conoce su existencia desde hace más de cien años; estimándose que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (Hernández, 2001).

Los hongos micorrizógenos es uno de los microorganismos beneficiosos más estudiados y empleados en la actualidad. Son tantas las especies, cepas existentes, y tan diversas sus formas de actuar en la planta y en el suelo, que se puede asegurar que están presentes en casi todas las especies vegetales y los suelos agrícolas existentes en el mundo. Estos microorganismos, que por naturaleza son microorganismos del suelo, el hombre ha logrado aislarlos y reproducirlos de manera vertiginosa, convirtiéndolos en un gran aliado del productor y de personas que lo emplean para diferentes fines y propósitos naturales y ecológicos.

Tabla 1. Características de la micorriza arbuscular (HMA)

Componente activo	Glomus intraradices (hongo micorrícico arbuscular)
Contenido activo	Mínimo 200 IMP / ml (ó 650 IMP/g) (IMP = Infective My IMP = Infective hízal Propagules = esporas + hifas + fragmentos de raíces micorrizadas) de los cuales mínimo 50 esporas vivas / ml (ó 150 esporas/g)
Sustrato inerte	Arcilla expandida Light Weight Expanded Clay Aggregate (LECA)
Granulometría	< 4 mm
Densidad aparente	270 - 300 Kg/m ³
Humedad	Max. 6 % p/p
Fertilizantes	
N-amoniacal	<0,01%
N-nítrico	<0,01%
Fósforo	<0,01%
Potasio	<0,01%
Otros Parámetros	
pH	7,0 – 8,5
Carbón orgánico t (TOC)	<0,01%
Capacidad de intercambio iónico	<10 mmol/Z/l (1mval/l)

Fuente: Mycosym International (2012)

(IMP = Infective Mycorrhizal Propagules= esporas+hifas+fragmentos de raíces micorrizadas)

2.4.2. Funciones y beneficios *Glomus sp.*

- Las micorrizas actúan a nivel de la raíz produciendo una plántula más sana ya que el micelio del hongo realiza las siguientes funciones.
- Consume los exudados de las raíces compitiendo con los patógenos, no permitiéndoles obtener alimento.
- Cada punto de unión con la raíz libera antibióticos.
- Recubre la raíz protegiéndola de hongos y bacterias.

- Libera hormonas de crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas), aumentando el volumen
- radical y favoreciendo el enraizamiento de las plantas.
- Tiene mayor superficie de acción que las raíces en la captura de nutrientes y agua
- Es ampliamente conocida la multitud de ventajas que tiene una planta micorrizada con respecto a una que no lo esté. Entre éstas ventajas, se encuentran:
- Contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo, por absorción, translocación y transferencia; en la nutrición nitrogenada de la planta, y en la adquisición de otros nutrientes como zinc y cobre, y se considera que probablemente, podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre.
- Control biológico para algunos patógenos provenientes de suelo, e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.
- Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa.
- Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y salinidad
- Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera.
- Producción de hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal.

- Incremento en la relación parte aérea / raíz de la planta micorrizada.
- Aportes en recuperación de suelos por ser formadores de agregados del suelo.
- Uso potencial en suelos degradados o áridos en programas de revegetación y/o reforestación.
- Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de la rizósfera.
- Mayor desarrollo de la parte aérea (follaje).
- Mayor éxito en el trasplante (Dibut, 2000).

2.4.3. Glomus y la Asimilación de Nutrientos

La utilización de nutrientes por las plantas es determinada por la capacidad de absorción de la raíz y por la difusión de nutrientes, por ende, por la liberación de elementos de la solución de suelo. El micelio externo de los hongos arbusculares incrementa el volumen de suelo explorado y determinan la utilización de iones de baja velocidad de difusión como P, Zn y Mo (González, 1998, citado por Duchicela, 2001).

Las micorrizas además son productoras de enzimas hidrolíticas como proteasas y fosfatasas, estas últimas necesarias en la solubilización del fosforo y mineralización del fosforo orgánico, incrementando los nutrientes disponibles para el mantenimiento de un sistema saludable suelo-planta (Bernal y Morales, 2006).

Efecto de las micorrizas arbusculares (MA) sobre el crecimiento de las plantas

El efecto más importante que producen las MA en las plantas es un incremento en la absorción de nutrientes minerales del suelo, que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las mismas. La expansión del micelio externo del hongo por el suelo rizosférico es la causa principal de este efecto, permitiendo la captación de los nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces, por la propia absorción de la planta (Regés, 2004).

Las micorrizas actúan a varios niveles, provocando alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas hospedadoras como cambios en la relación tallo-raíz, en la estructura de los tejidos radicales, en el número de cloroplastos, aumento de la lignificación, alteración de los balances hormonales, efectos que no son sólo explicables como una simple mejora

nutritiva de la planta debida al aumento de eficacia en la absorción de nutrientes por la raíz gracias a la formación de la micorriza, sino que responde a cambios metabólicos más profundos y complejos debidos a la integración fisiológica de los simbioses (López y Barceló, 2001).

Las ventajas nutricionales que obtiene cada integrante de una asociación micorrízica, explica, en parte, el éxito de tal interrelación. Algunos hongos micorrízicos pueden producir auxinas, es decir, hormonas que estimulan el crecimiento de los vegetales, y otros producen antibióticos, esto ayuda a regular el micro ambiente alrededor de las raíces y contribuye a prevenir la infección de las plantas. Experimentalmente se demostró que los hongos micorrízicos proveen protección contra *Phytophthora sp.* (Carlile et al., 2001). Una de las funciones más importantes de las micorrizas es absorber los elementos minerales menos móviles del suelo (fosfato, cobre, zinc) y transferirlos a la planta hospedadora, así como amonio. La planta proporciona azúcares al hongo (Ferraris y Couretot, 2011).

El ciclo de vida se inicia con la germinación de las esporas que los hongos micorrízicos producen de forma asexual. (Becard y Pfeffer, 1993). Esta primera fase es un proceso independiente de la presencia o no de la

planta hospedadora, requiriendo tan solo unas condiciones adecuadas de humedad y temperatura. No obstante, si es cierto que determinados factores químicos, como elevadas concentraciones de CO₂, y biológicos, como la presencia de exudados radicales (Becard, 1989), así como factores físicos, como exponer a las esporas durante unos días a temperaturas de 4°C, y los derivados de una amplia variedad de hongos y bacterias del suelo aceleran el ritmo de germinación de las esporas. El primer proceso que se da cuando germinan las esporas en condiciones favorables, es la formación de unos o varios tubos de germinación que pueden proliferar y formar un micelio que se extiende de forma radial y errática a través del suelo en busca de una planta hospedadora susceptible a ser colonizada (Giovannetti, 2002).

Si las hifas del hongo tras la germinación no encuentran raíces de una planta susceptible de ser colonizada, se produce un micelio muy reducido, manteniendo el crecimiento tan solo unos cuantos días tras la producción del tubo de germinación y, transcurrido este tiempo, el citoplasma de las nacientes hifas, se retrae hacia la espora entrando está de nuevo en reposo (Bago, 1999)

Del mismo modo que el hongo reacciona ante la presencia de una planta hospedadora, dicha planta también percibe señales del hongo micorrízico arbuscular se acepta que los sitios más habituales de penetración coinciden con los lugares más activos de la raíz, posiblemente porque la exudación radical es más abundante en esta zona. El hongo micorrízico no penetra por heridas ni coloniza raíces muertas. (Harrison, 2005).

En cada célula solo puede formarse un arbusculo, que recibe este nombre porque su estructura recuerda a la de un pequeño árbol con tronco y ramificaciones. Los arbusculos tienen una vida muy breve, aproximadamente 7 días, transcurrida los mismos, los arbusculos degeneran y la célula cortical recupera su morfología previa a la colonización, e incluso puede ser colonizada de nuevo (Alexander, 1988).

2.4.4. Investigaciones realizadas

Pérez *et al.*, (2011) en su investigación titulada “Efecto de parámetros físicos, químico y salinidad sobre la densidad poblacional y la colonización de micorrizas arbusculares en Pasto Angletón en el municipio de Tolú, Sucre, Colombia reportó la presencia de 25 morfotipos con características similares a HMA. Los resultados obtenidos mostraron que el 92% de las

especies encontradas correspondieron a características de HMA similares al género *Glomus*, el 4% al género *Gigaspora* y el 4% restante a *Paraglomus*

Alarcón et al (2013) realizó la investigación titulada “Efecto de las micorrizas arbusculares y *Meloidogyne* spp. en tomate (*Solanum lycopersicum* L.)” Se utilizaron siete tratamientos, consistentes en aplicaciones simples y combinadas de un concentrado de cepas nativas y no nativas de micorrizas (*Glomus mosseae* (Gerdemann y Trappe) y *Glomus* sp. (Schenck y Smith), incluyendo un testigo y dos niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp., Se utilizaron macetas de 2 kg de capacidad, que contenían un sustrato estéril, compuesto por una mezcla de suelo y estiércol ovino en proporción 3:1 v:v y una población de *Meloidogyne* spp. procedente de Granma. Los mejores resultados para los indicadores del crecimiento se obtuvieron cuando se aplicó el concentrado de cepas nativas y su combinación con *Glomus mosseae* y *Glomus* sp., y el menor índice de infestación del nematodo (1,5 huevos-juveniles infestivos (Ji).g⁻¹ de sustrato). Sin embargo; al incrementar la concentración del inóculo a 2,5 huevos-juveniles infestivos (Ji).g⁻¹ de sustrato, no hubo efecto significativo de las micorrizas arbusculares en la reducción de los daños producidos por *Meloidogyne* spp.

En estudios en Cuba, Solórzano *et al.* (2001), informaron que las micorrizas arbusculares del género *Glomus* (*Glomus manihotis* y *Glomus fasciculatum*) incrementaron la resistencia del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad INCA-17 a la infección por patógenos, pues fueron capaces de inducir la síntesis de enzimas relacionadas con la defensa contra dichos patógenos como: peroxidasas, β (1-3)-glucanasas, fenilalanina-amonioliasas, quitinasas y polifenoloxidasas. Los mecanismos involucrados en el sistema planta-micorrizas-nematodos deberán ser objeto de estudios futuros, de manera de lograr una eficiente explotación de las micorrizas en el manejo de nematodos en hortalizas como el tomate.

Mujica *et al.* (2008) Evaluaron la respuesta del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la formulación líquida de cuatro cepas de *glomus* en condiciones de campo, se evaluó la respuesta del tomate a la aplicación de cuatro cepas de *Glomus* como inoculantes líquidos, a dos dosis diferentes, en áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, utilizando plantas de la variedad Mara. La preparación de suelo fue mecanizada y se aplicó fertilizante NPK (9-13-17) antes del transplante. Las cepas de hongos

micorrízicos arbusculares (HMA) empleadas fueron: *G. hoi-like*; *G.* intraradices y *G. mosseae*, a partir de las cuales se obtuvieron los inoculantes líquidos. La etapa de semillero fue de 30 días y los inoculantes fueron aplicados a los siete días de germinadas las semillas a las dosis de 20 y 40 esporas/planta se evaluaron algunas variables del crecimiento (masa fresca radical, masa seca foliar y radical, número de hojas, número de frutos.planta-1, diámetros ecuatorial y polar de los frutos y rendimiento agrícola) y fúngicas (porcentaje de colonización radical y número de esporas en el suelo). Los resultados mostraron que el inoculante líquido basado en la cepa *G. mosseae* tuvo un efecto muy destacado sobre los indicadores de crecimiento y el rendimiento del tomate. De forma similar, los inoculantes líquidos basados en las demás cepas, a la dosis de 40 esporas.planta-1, no tuvieron efectos positivos.

2.5. RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE

2.5.1. Definición de la producción del cultivo de tomate

Es la cantidad de producto primario obtenido del cultivo de tomate en el período de referencia, ciertos productos requieren un tratamiento preliminar para su comercialización o almacenamiento. (FAO, 2010)

2.5.2. Producción mundial de tomate

China es el principal productor mundial con 50,12 millones de toneladas, el 23,75 por ciento del total mundial. El segundo lugar lo ocupa India con 17,5 millones de toneladas (8,29%), figurando Estados Unidos en la tercera posición con 13,21 millones de toneladas (6,26%). España ocupa la octava posición con una producción de 4,01 millones de toneladas, el 1,9 por ciento de la producción mundial de tomate para fresco

La producción mundial de tomate para fresco se eleva a 211.021.843 toneladas, según los datos de 2012 (últimos datos disponibles a nivel mundial) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

En 2012 la producción mundial de esta hortaliza se incrementó en un 2,2 por ciento con respecto al año anterior, continuando con su línea ascendente año tras año.

China es el primer productor en el mundo, con 50.125.055 toneladas, el 23,75 por ciento del total. A China le sigue India como segundo productor

mundial de tomate, con un total de 17.500.000 toneladas, el 8,29 por ciento. El tercer lugar lo ocupa Estados Unidos, que produjo en 2012 más de 13 millones de toneladas de tomate, concretamente 13 206 950 toneladas, el 6,26 por ciento de la producción mundial.

El cuarto lugar en el ranking de productores mundiales de tomate está ocupado por Turquía, con 11 350 000 toneladas, el 5,38 por ciento. Egipto ocupa la quinta posición con 8 625 219 toneladas (4,09%), país al que siguen Irán en sexta posición con 6.000.000 toneladas (2,84%), Italia en el séptimo lugar con 5 131 977 toneladas (2,43%), España con el número 8 y una producción de 4 007 000 toneladas (1,9%), Brasil en novena posición con 3 873 985 toneladas (1,83%), apareciendo México en el décimo lugar con una producción de 3 433 567 toneladas, cifra que supone el 1,63 por ciento de la producción mundial de tomate para fresco.

Tabla 2. Producción mundial de tomates

Producción mundial de tomate. Toneladas					
	2008	2009	2010	2011	2012
Argelia	559 249	641 034	718 240	79 000	796 963
Argentina	701 311	713 492	720 733	698 699	715 000
Brasil	3.867 660	4 310 480	4 106 850	4 416 650	3 873 985
Camerún	572 219	666 607	795 327	880.000	880 000
China	39 938 708	45 365 543	46 876 088	48 576 853	50 125 055
Colombia	490 929	514 587	546 322	595 299	646 904
Egipto	9 204 100	10 278 500	8 544 990	8 105 260	8 625 219
España	4 049 750	4 603 600	4 312 700	3 821 490	4 007 000
EE.UU.	12 735 100	14 181 300	12 858 700	12 624 700	13 206 950
Rusia	1 938 710	2 170 390	2 049 640	2 200 590	2 456 100
Grecia	1 338.600	1 561 310	1 406 200	1 169 900	979 600
India	10 303 000	11 148 800	12 433 200	16 826 000	17 500 000
Irán	4 826 400	5 887 710	5 256 110	6 824 300	6 000 000
Iraq	802 386	913 493	1 013 180	1 059 540	1 100 000
Italia	5 976 910	6 878 160	6 024 800	5 950 220	5 131 977
Japón	732 800	717 600	690 900	703 000	722 300
Jordania	600 336	654 306	737 261	777 820	616 427
Kazajstán	549 310	580 890	593 420	662 000	706 000
México	2 872 670	2 691 400	2 997 640	2 435 790	3 433 567
Nigeria	1 823 840	1 750 000	1 799 960	1 504 670	1 560 000
Países Bajos	730 000	800 000	815 000	815 000	805 000
Polonia	702 546	709 223	558 064	712 295	758 936
Rep. Á. Siria	1 163 300	1 165 610	1 156 350	1 154 990	783 874
Rumania	814 376	755 596	768 532	910 978	683 282
Túnez	1 200 000	1 135 000	1 296 000	1 284 000	1 100 000
Turquía	10 985 400	10 745 600	10 052 000	11 003 400	11 350 000
Ucrania	1 492 100	2 040 800	1 824 700	2 111 600	2 274 100
Uzbekistán	1 930 000	2 110 000	2 347 000	2 585 000	2 650 000
Otros	55 546 799	61 330 616	62 783 917	62 788 007	64 921 833
TOTAL	180 908 419	199 598 817	198 767 674	206 469 581	211 021 843

Fuente: F.A.O. (2013)

2.5.3. Producción nacional de tomate

La producción de tomate se encuentra altamente concentrada en la costa, con más de 84 por ciento de la producción nacional, siendo Ica la principal región productora. Dicha región costeña concentró el 2012 el 44,4 por ciento de la producción nacional y actualmente es la mayor zona productora de pasta de tomate para exportación. Asimismo indican que en el año 2011 la producción nacional de tomates alcanzó las 186,00 mil toneladas, siendo Ica el mayor productor (51,1 %), seguido de Lima (19,5%), Arequipa (7%) y La Libertad (4,7%). En conjunto concentraron el 82.3 por ciento de la producción nacional. Por otra parte señalan que el 2012 la producción en Ica alcanzó 88,800 toneladas, subiendo 24,3 por ciento en relación con el mismo período del 2011. Asimismo, Lima y La Libertad aumentaron su producción en 34,3 y 21,5%, respectivamente. (MINAG, 2012)

Tabla 3. Producción nacional de tomates

Producción nacional de tomate. Toneladas					
	2008	2009	2010	2011	2012
Perú	211 000	222 000	225 000	186 000	220 000

Fuente Minag (2012)

2.5.4. Producción regional de tomate

El cuadro muestra que la producción de tomate en la región Tacna durante los años 2008 fue de 4287 TM durante los años 2009 y 2010 la producción descendió en 3958 y 3169 respectivamente, posteriormente en los años 2011 y 2012 la a producción se incrementó en 4971 y 5011 toneladas respectivamente.

Tabla 4. **Producción regional de tomates**

Producción nacional de tomate. Toneladas					
	2008	2009	2010	2011	2012
Perú	4287	3958	3169	4971	5011

Fuente Minag (2012)

2.5.5. Rendimiento del cultivo de tomate

Es la cantidad media del producto agrícola obtenido por unidad de superficie cultivada; mientras que por producción se entiende la cantidad total producida. (FAO, 2010)

Es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea. (MINAG, 2012)

Rendimiento del cultivo

La formación del rendimiento en el cultivo depende mucho de la fijación total de CO₂ del aire en un día determinado (Asimilación Bruta, kg CO₂ ha⁻¹) depende de la tasa fotosintética (TAB, kg CO₂ ha⁻¹ día⁻¹), la cual a su vez depende de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y de la eficiencia con que se usa esa radiación en el proceso de fotosíntesis. La cantidad de radiación interceptada depende del IAF y la arquitectura foliar del cultivo, y por supuesto de la cantidad de radiación incidente. La eficiencia con que se usa esa radiación depende de la temperatura, disponibilidad de agua y CO₂, estado nutricional del cultivo y edad promedio del follaje. El CO₂ fijado es transformado en azúcares simples (ej. glucosa) y estas son utilizadas por las plantas, en parte, para el mantenimiento de las funciones metabólicas y de las estructuras celulares (síntesis de componentes constitutivos como encimas, mantenimiento de gradientes de concentración, etc.). (NUEZ 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO:

El área de estudio se encuentra ubicada al Nor Este de la ciudad de Tacna en el sector campiña de Pocollay, a 350 metros de la plaza principal de dicha jurisdicción, dentro del predio rural ubicado en la Calle San Martín 1275, del distrito de Pocollay, Provincia y Departamento de Tacna.



Figura 1. **Ubicación del área de estudio, parcela en Pocollay.**
Fuente: Google earth

3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizaron semillas F₁ de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) las cuales provinieron de la semillera Semiagro provenientes de Israel.

Características del F₁ Rio Grande Mejorado:

- Tomate híbrido muy productivo de frutos tipo pera cuadrado grandes.
- Fruto muy firme, de pulpa gruesa, de excelente consistencia y buen sabor.
- Planta determinada, vigorosa y de una excepcional carga.
- Presenta resistencia o tolerancia a *Verticillum Sp*; *Fusarium* raza 1 y 2; Nematodos; Cepa Bacteriana y *Stempphylium*.
- Mercado de doble propósito fresco e industrial.
- Presentación: L/25000 semillas y L/5000 semillas

Características del MYCOSYM TRI-TON:

- Es una substancia coadyuvante del de naturaleza, biológicamente activa. Se compone de arcilla porosa (material portador), sobre el cual mediante un procedimiento completamente biológico (sin intervención

de productos químicos) se fijan unidades de infección (esporas de *Glomus sp.*) de micorrizas en una gran concentración.

- Contenido activo Mínimo 200 IMP / ml (ó 650 IMP/g) (IMP = Infective Mycorrhizal Propagules = esporas + hifas + fragmentos de raíces micorrizadas) de los cuales mínimo 50 esporas vivas / ml (ó 150 esporas/g)
- MYCOSYM TRI-TON® establece y/o incrementa la simbiosis natural entre hongos del suelo y las raíces de las plantas. Permite el desarrollo de un sistema de raíces más denso y fino mejorando la absorción de nutrientes y de agua desde el suelo.
- En gran parte de la costa del Perú y en los terrenos removidos, no existe materia orgánica y menos Micorrizas, con este producto se establece una microflora benéfica que acelera el desarrollo de una rizosfera sana, ya que las mismas micorrizas liberan compuestos que repelen a los organismos patógenos (Fusarium, Nematodes, etc) dando espacio a organismos benéficos.

Características de MONIBAC CORPOICA:

- Es un biofertilizante formulado a base de *Azotobacter chroococcum*, con una concentración mínima de 10^8 UFC/g de producto. Esta bacteria es nativa y sin ninguna manipulación genética.
- Las reacciones biológicas y químicas que ocurren entre la planta y el suelo, en su conjunto se conocen como ciclos biológicos o ciclos bio-geo-químicos, MONIBAC® actúa directamente influenciando la eficiencia en el desarrollo de estos, y de manera directa en lo relativo al nitrógeno y el carbono. Ambos elementos son fundamentales en la síntesis de metabolitos tales como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, reguladores de crecimiento, fosfolípidos y clorofila.
- Desde el ángulo de la producción agrícola, el nitrógeno es el elemento nutritivo que más frecuentemente limita los rendimientos, la mayoría de los suelos cultivados son deficientes en este elemento.
- MONIBAC® es una cepa nativa de *Azotobacter chroococcum* altamente activa y que realiza la fijación no simbiótica en el ciclo del

nitrógeno, disminuyendo los costos de la fertilización nitrogenada y haciendo disponible este elemento para la planta.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño utilizado fue el de bloques completos aleatorios con cuatro tratamientos a base de *Azotobacter chroococcum*, *Glomus sp.* y un testigo con cuatro repeticiones.

Los Tratamientos fueron:

Tratamiento Control: T₀: Sin inoculante

Tratamiento Experimental:

T₁: *Azotobacter chroococcum*

T₂: *Glomus sp.*

T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*

T₄: Fertilización Química (300 N 100 P₂O₅ 25 K₂O)

Block I	T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	T ₄
Block II	T ₄	T ₅	T ₁	T ₂	T ₃
Block III	T ₃	T ₅	T ₄	T ₂	T ₁
Block IV	T ₂	T ₁	T ₅	T ₄	T ₂

Figura 2. **Distribución de los tratamientos en el campo experimental**
Fuente: Propia elaboración

Características del área experimental

a. Características del campo experimental

Largo:	30
Ancho:	10
Área Total:	300 m ²

b. Características del bloque:

Largo:	30
Ancho:	2,5
Área Total:	75 m ²

Número de bloques: 4

c. Características de la unidad experimental

Largo: 6

Ancho: 2.5

Área Total: 15 m²

Número de unidades: 20

Separación entre surcos: 1 m

Distanciamiento entre plantas: 0.30 m

3.4. VARIABLES

Variables independientes:

(X) Biofertilización

X₁ *Azotobacter chroococcum*.

X₂ *Glomus sp.*

X₃ Fertilización química

Variable dependiente (Y):

Valores de crecimiento y desarrollo del Cultivo:

- Altura de planta
- Número de frutos por racimos
- Número de racimos por planta
- Peso unitario del fruto
- Peso total de frutos por planta
- Calibre de frutos
- Rendimiento de tomate (t/ha)

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. Preparación de terreno del suelo del área experimental

Se efectuó la limpieza del terreno de restos de vegetales (rastros) que quedaron de la campaña anterior, inmediatamente se rotuló el suelo con el motocultor (mula mecánica), con el cual se consiguió el mullido del suelo y posteriormente se paso con un rastrillo con la finalidad de que el terreno quede nivelado.

Desinfección del suelo por solarización

Se cubrió el suelo con una lámina de plástico transparente durante 45 días, a fin de elevar su temperatura por efecto de los rayos del sol. La

radiación solar pasa a través del plástico, se convierte en calor y provoca cambios físicos, químicos y biológicos que destruyen la mayoría de los microorganismos causantes de enfermedades; insectos y malezas del suelo. Con esta técnica, las temperaturas pueden llegar a 45 °C a una profundidad de 10 cm y a unos 38 °C a 20 cm de profundidad del suelo.

3.5.2. Preparación de almácigo

Para esta labor se preparó un sustrato que estuvo compuesto por humus de lombriz, arena de río y tierra de chacra (de la propia parcela) a una proporción de 1; 2; 1, con dichas proporciones se procedió a llenar con sustrato en cada celda.

3.5.3. Siembra en almácigo

Para este procedimiento se utilizaron bandejas para germinación (Speedling), se hizo un pequeño orificio a 1.5 cm de profundidad donde se colocó una sola semilla de tomate cubriéndola totalmente con el mismo sustrato, posteriormente se realizaron riegos frecuentes y ligeros con una regadera donde se incorporó el fungicida Benomex a dosis de 30 g por mochila para desinfectar el sustrato.

3.5.4. Transplante:

El trasplante se realizó a los 35 días después de la siembra en almacigo cuando las plántulas alcanzaron de 12 a 15 cm de altura, con sus respectivos sustratos, previamente (1 día antes) se prepararon hoyos a 0,15 m, siendo el distanciamiento entre golpe fue de 0,30 m y entre surcos 1 m se colocó una plántula por golpe.

3.5.5. Preparación de Inoculantes y aplicación de tratamientos

La aplicación de inoculo micorrítico del tratamiento (T₂) a base de *Glomus sp* se aplicó una sola vez durante el ciclo de vida vegetal. Cuando antes en el ciclo de vida de la planta se establezca la micorriza mejor se aprovecharán los beneficios. Por lo que se prefirió el tratamiento en el transplante, es decir conservando las condiciones de campo en Pocollay.

El proceso de inoculación tarda unas semanas en establecerse. Durante este período, es recomendable fertilizar sólo ligeramente (en particular, no exceder de un nivel de fósforo de 30 ppm), evitar el uso de fungicidas sistémicos, y usar sustratos con bajo nivel de materia orgánica.

En el hoyo de plantación:

Aplicar 0,5-1,5 g (2-5 ml) de MYCOSYM TRI-TON en el fondo del hoyo justo antes del trasplante, asegurando el contacto de las raíces con el producto.

Para la aplicación del inóculo de *Azotobacter chroococcum* mediante el producto MONIBAC CORPOICA, la dosis a utilizar es de 1.5 a 2.0 kilogramos para inocular la plantación de una hectárea. Haciendo las disoluciones correspondientes se realizó la inmersión de las posturas de la variedad de tomate estudiada sumergiendo la raíz hasta el cuello y una segunda aplicación del mismo tratamiento a los 45 días suministrándose la solución en el área radicular, alrededor del tallo, con un chorro constante, los volúmenes dispuestos en la inoculación se determinaron en base al crecimiento general de la planta, la primera aplicación 50 mL/planta y la segunda aplicación a 75 mL/planta

La aplicación para el tratamiento (T₃) a base de *Azotobacter chroococcum* + *Glomus* sp se realizó en el momento del trasplante siguiendo de manera conjunta los dos pasos antes descritos con un refuerzo a los 45 días de *Azotobacter chroococcum*.

En cuanto a la aplicación del tratamiento (T₄) a base de la fertilización química se utilizó el fertilizante foliar Kristalon para inicio (13- 40- 13 con elementos menores quelatados) en una concentración de 100 g por cada 20 L de agua se aplicó en 2 oportunidades a los 15 días y 45 días después del trasplante respectivamente

3.5.6. Cuidados del cultivo:

Riego:

El riego se efectuó por gravedad y de acuerdo a las necesidades del cultivo tomando en cuenta las condiciones climáticas, la edad de la planta y la retención de humedad del suelo. El primer riego se realizó al momento de trasplante, siendo un riego bajo, para evitar el encharcamiento que pueda dar lugar a la presencia de enfermedades fungosas, posteriormente los riegos se realizaron cada 8 días.

Deshoje:

En esta etapa se procedió a eliminar las hojas muy viejas o manchadas por enfermedades para mejorar la ventilación y para disminuir la

presencia de enfermedades, evitando así que los frutos estén expuestos a la luz directa del sol y, evitar el daño por quemadura de los frutos al inicio.

Desmalezado:

Con la finalidad de impedir la competencia por nutrientes, se retiraron las malezas manualmente cada semana al inicio y posteriormente cada 15 días.

Control de plagas y enfermedades:

- Plagas: Los controles fitosanitarios fueron en forma preventiva, para el gusano de tierra, (*Prodenia eridania*, *Agrotis Ipsilón*) y polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick) se aplicó Lorsban a una dosis de 40 ml /mochila, Wital – W 20 ml, Trigarr a una dosis de 8 g y finalmente el coadyuvante Superwet a una dosis de 5 ml /mochila.
- Enfermedades: No se presentaron ataques de importancia, sin embargo se aplicó fungicida de manera preventiva (FORDAZIM 5 Fw) para la “Podredumbre gris” que origina *Botrytis cinérea*, a los 15 días después del trasplante a una dosis de 300 ml/cil, de manera foliar.

Cosecha:

Para la cosecha se tuvo en cuenta el grado o índice de madurez, distinguiéndose los dos tipos de madurez: la fisiológica y la comercial. Se cosecharon separadamente los frutos de las plantas evaluadas y se pesaron directamente en el mismo campo experimental.

3.6. EVALUACION DE LA PRODUCCION

Altura de planta (cm)

Esta evaluación se realizó a los 30, 60 y 90 días después del trasplante antes de la primera cosecha y se tomaron 5 plantas al azar por tratamientos, las mediciones se realizaron desde la base de la planta, hasta la parte apical.

Número de frutos por racimos

Se registró los frutos por racimos de 5 plantas por unidad experimental tomadas en forma aleatoria de cada uno de los tratamientos.

Número de racimos por planta

Se contabilizó el número de racimos, tomando 5 plantas por tratamiento al azar, contando de manera visual el número de racimos.

Peso unitario del fruto (g):

Se pesaron 5 frutos de cada planta por tratamiento tomados en forma aleatoria, de aquellos que estuvieron en condiciones de cosechar.

Peso total de frutos por planta (kg)

Se determinó pesando el total de los frutos de 5 plantas de tomate en forma aleatoria de cada uno de los tratamientos.

Rendimiento (t/ha)

Se determinó basándose en el rendimiento por parcela de cada uno de los tratamientos la que se transformó a kg / ha.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza; bajo el modelo básico de bloques completos aleatorios a una prueba de F de 0,05 y 0,01 de probabilidad. Para la comparación de medias se empleó la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad.

IV. RESULTADOS

4.1. ALTURA DE PLANTAS A LOS 30, 60 Y 90 DÍAS

Tabla 5. Análisis de varianza, altura de planta de tomate a los 30 días

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	1,164	0,388	0,238	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	105,457	36,364	16,237	3,26	5,41 **
Error	12	19,483	1,623			
Total	19	126,104				

CV: 5,393%

Ns: no significativo ** altamente significativo

En la Tabla 5 se detalla el análisis de varianza de altura de la planta a los 30 días, los resultados indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre bloques, tanto al 95 como al 99% de confianza. En lo relacionado a los tratamientos los valores reflejan que existen diferencias estadísticas altamente significativas (**) con un nivel de confianza del 99 %, es decir, que uno de los tratamientos inoculados tuvo mayor efecto en la altura de planta. El coeficiente de variabilidad fue de 5,393%, siendo aceptable para este experimento.

Tabla 6. Prueba de significación de Duncan, altura de planta 30 días

Orden	Tratamientos	Promedio (cm)	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	25,72	a
2	T ₄ : Fertilización química	25,22	a b
3	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	24,63	a b
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	23,22	b
5	T ₀ : Testigo	19,35	c

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

En la Tabla 6 apreciamos la aplicación de la prueba de significación de Duncan, que nos permite evidenciar las diferencias estadísticas en la altura de planta a los 30 días entre los tratamientos inoculados. Los tratamientos están agrupados por letras (a, b, c) a un nivel de confianza del 95%, mencionando que los integrantes de un mismo grupo no tienen diferencias significativas entre sí. El tratamiento con *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 25,72 y el menor fue del testigo con 19,35 cm, estos resultados evidencian un respuesta favorable en la altura de las plantas de tomate que fueron inoculadas con los biofertilizantes materia de estudio.

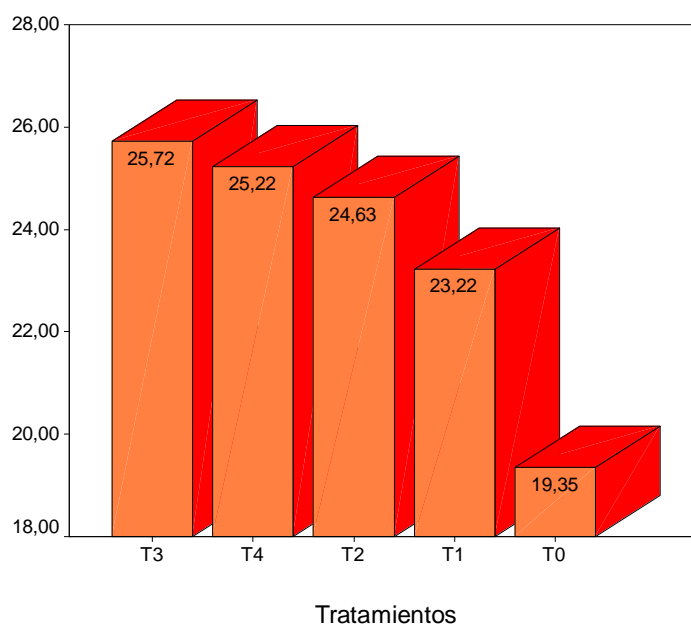


Figura 3. **Altura de planta a los 30 días**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

Tabla 7. **Análisis de varianza, altura de planta de tomate 60 días**

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	5,092	1,697	0,335	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	360,078	90,019	17,797	3,26	5,41 **
Error	12	60,696	5,058			
Total	19	425,866				

CV: 3,642%

Ns: no significativo ** altamente significativo

En la Tabla 7 correspondiente al análisis de varianza de altura de la planta a los 60 días, evidenciamos que no existen diferencias estadísticas entre bloques, garantizando la homogeneidad de las condiciones del campo cultivado, mientras que en lo relacionado a los tratamientos aplicados existen diferencias estadísticas altamente significativas, con un nivel de confianza del 99 %, lo que describe un efecto mayor en la variable de respuesta respecto a alguno de los tratamientos. El coeficiente de variabilidad fue de 3,642 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 8. Prueba de significación de Duncan, altura de planta 60 días

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	66,292	a
2	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	65,160	a
3	T ₄ : Fertilización química	63,257	a
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	59,405	b
5	T ₀ : Testigo	54,680	c

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

En la Tabla 8, de la prueba de significación de Duncan, los datos evaluados en la altura de planta a los 60 días, se ajustan a los descrito por Olsen *et al.* (1996) en que las plantas micorrizadas crecen más rápido

y más saludable debido a que los hongos MA incrementan la absorción de elementos nutritivos esenciales, comprobamos que el tratamiento con *Glomus sp* (T₂) obtuvo el mayor promedio de crecimiento en altura con 66,292 cm y el promedio más bajo lo registró el testigo con 54,680 cm. Los datos de esta evaluación agruparon a los tratamientos: T₂, T₃ y T₄ dentro del grupo “a” sin diferencias significativas entre sí.

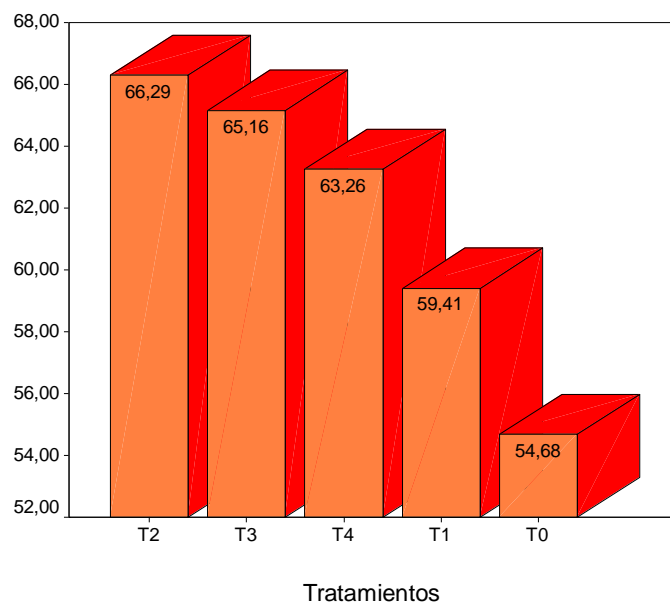


Figura 4. Altura de planta a los 60 días

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

Tabla 9. Análisis de varianza de altura de planta de tomate, 90 días

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	15,353	5,117	0,180	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	1302,703	325,676	11,464	3,26	5,41 **
Error	12	340,896	28,408			
Total	19	1658,952				

CV: 5,667 %

Ns: no significativo ** altamente significativo

Los resultados de la prueba del análisis de varianza, descritos en la Tabla 9, evidencian que entre bloques no existen diferencias estadísticas significativas mientras que en lo relacionado a los tratamientos existen diferencias altamente significativas con un nivel de confianza del 99 %, al comparar los resultados (F α) con el F Calculado, correspondiente a los datos evaluados en la altura de la planta de tomate a los 90 días, por lo tanto uno de los tratamientos logró un mayor promedio que los demás. El coeficiente de variabilidad fue de 5,667 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 10. Prueba de significación de Duncan, altura de planta 90 días

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	107,50	a
2	T ₄ : Fertilización química	96,25	b
3	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	91,75	b c
4	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	88,75	b c
5	T ₀ : Testigo	83,75	c

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

En la Tabla N°10, apreciamos los resultados de la prueba de significación de Duncan de altura de planta a los 90 días, demostrando que el tratamiento con *Azotobacter chroococcum* (T₁) logró el mayor promedio con 107,00 cm, y diferenciándose estadísticamente a un nivel de confianza del 95 % de los grupos “b” conformados la Fertilización química (T₄), la inculación de *Glomus Sp* (T₂) y de *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃); y el grupo “c” conformado por el Testigo (T₀) con 83,75 cm de promedio de altura de plata y los tratamientos (T₂) y (T₃). Los resultados obtenidos están en correspondencia con los reportados por Steinberga et al (1996), quienes señalan que la inoculación del suelo con *Azotobacter* mejora notablemente el crecimiento y el desarrollo de las plantas, lo cual pudiera estar relacionado con su efecto biofertilizante y con la capacidad de esta bacteria para sintetizar determinadas

sustancias, que actúan como bioestimulantes del crecimiento vegetal, tales como: aminoácidos, vitaminas, fosfolípidos, ácidos grasos, auxinas, giberelinas y citoquininas; compuestos que son capaces de incrementar el vigor general de las plantas y acelerar los procesos de floración, fructificación y la producción de materia seca.

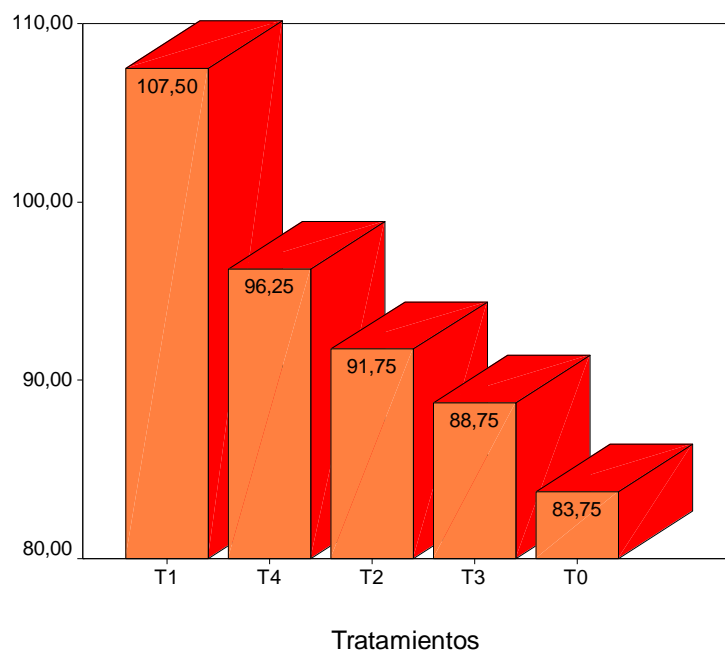


Figura 5. **Altura de planta a los 90 días**

Legenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.2. NÚMERO DE FRUTOS POR RACIMO

Tabla 11. **Análisis de varianza, número de frutos por racimo.**

F . V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	0,437	0,145	0,437	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	3,700	0,925	2,775	3,26	5,41 Ns
Error	12	3,999	0,333			
Total	19	8,136				

CV: 15,094%

Ns: no significativo

En la Tabla 11 del análisis de varianza, evaluado al 95% y 99% de confianza, respecto a los datos del número de frutos por racimo, obtuvimos que no existen diferencias estadísticas significativas entre los bloques.

En lo relacionado a los tratamientos, de igual forma, no se halló diferencias significativas, por lo tanto, sus promedios en el número de frutos son similares independientemente de la inoculación realizada. El coeficiente de variabilidad fue de 15,094 %, siendo aceptable para este de experimento.

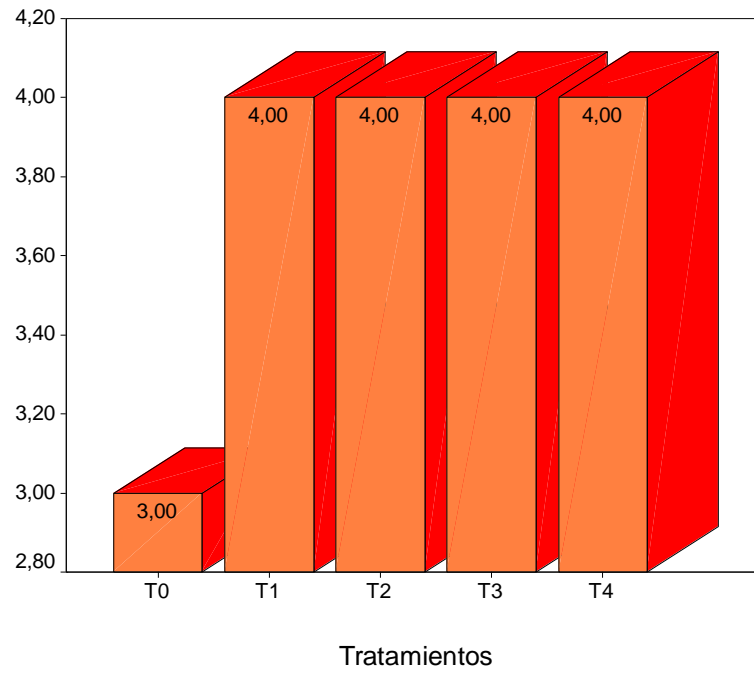


Figura 6. **Número de frutos por racimo**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.3. NÚMERO DE RACIMOS POR PLANTA

Tabla 12. Análisis de varianza de número de racimos por planta.

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	118,550	39,517	4,283	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	1813,301	453,325	49,151	3,26	5,41 **
Error	12	110,699	9,224			
Total	19	2042,550				

CV: 8,287%

Ns: no significativo ** altamente significativo

Respecto a la evaluación del número de racimos por planta tenemos la Tabla 12 con los resultados del análisis de varianza, evidenciando que entre bloques no existen diferencias estadísticas significativas. En lo relacionado a los tratamientos existen diferencias estadísticas altamente significativas con un nivel de confianza del 99 %, lo que nos indica que uno o más tratamientos, lograron un mayor promedio en el número de racimos por planta de tomate. El coeficiente de variabilidad fue de 8,287 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 13. Prueba de significación de Duncan, racimos por planta.

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	46,75	a
2	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	45,50	a
3	T ₄ : Fertilización química	39,25	b
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	30,00	c
5	T ₀ Testigo	21,75	d

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

Los resultados presentados en la Tabla 13, corresponden a la aplicación de la prueba de significación de Duncan con un 95 % de confianza, el mayor promedio obtenido fue para el tratamiento en el que se inocularon *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) en combinación con 46,75 y el menor promedio fue para el Testigo con 21.75.

Es importante mencionar que los autores Azcón-Aguilar y Barea (1996) señalaron, que los hongos MA, incrementan la absorción de agua por parte de la planta, con el consiguiente incremento de la resistencia a la sequía y al ataque de patógenos radicales; así como estimulan la producción de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, que posteriormente son transferidas a la planta hospedera. Asimismo, se ha comprobado por un gran número de autores, que las plantas sometidas a

la bacterización con *Azotobacter* aumentan su área foliar, tasa fotosintética y su productividad.

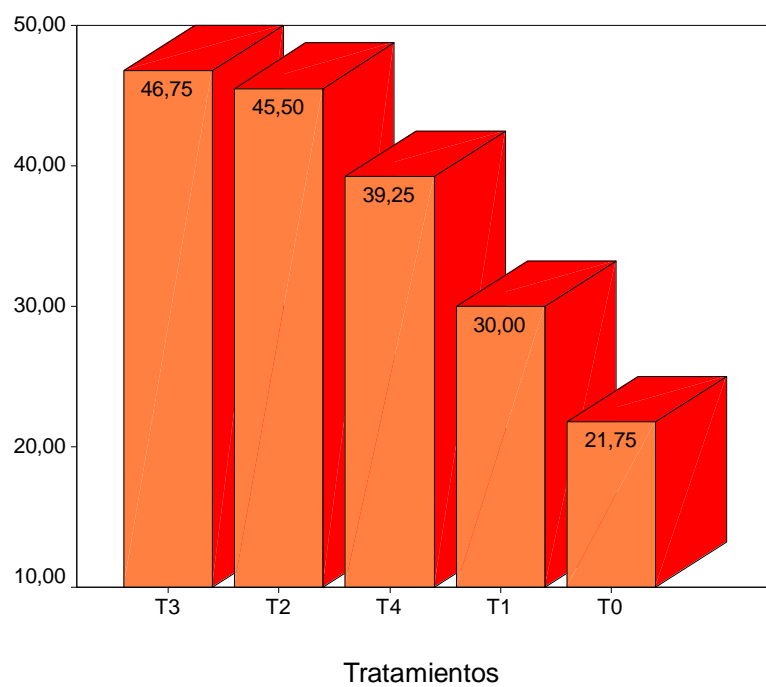


Figura 7. Número de racimos por planta

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.4. PESO UNITARIO DEL FRUTO (g)

Tabla 14. **Análisis de varianza de peso unitario del fruto (g)**

F. V.	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	25,191	8,396	0,418	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	381,789	95,447	4,751	3,26	5,41 *
Error	12	241,036	20,086			
Total	19	648,015				

CV: 5,975%

Ns: no significativo

* significativo

Según la Tabla 14 correspondiente a la aplicación del análisis de varianza de peso unitario del fruto, tenemos que entre bloques no existen diferencias estadísticas. En lo relacionado a los tratamientos existen diferencias estadísticas significativas con un nivel de confianza del 95%, es decir existen diferencias reales entre los promedios y por lo tanto uno de los tratamientos tiene mayor efecto sobre la variable mencionada. El coeficiente de variabilidad fue de 5,975% aceptable para este tipo de experimentos.

Tabla 15. Prueba de significación de Duncan, peso unitario del fruto

Orden	Tratamientos	Promedio g	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	79,47	a
2	T ₄ : Fertilización química	78,72	a
3	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	75,06	a
4	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	74,63	a
5	T ₀ : Testigo	67,16	b

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

En la Tabla 15, de la prueba de significación de Duncan del peso unitario, se obtuvo que el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 79,47 g seguido del tratamiento con fertilización química (T₄), en último lugar se ubicó el testigo con 67,16 g. De igual forma se aprecia que en todos los tratamientos con biofertilizantes y de fertilización química se agruparon en “a” demostrando que entre ellos no se difiere estadísticamente.

Al respecto Pérez et al (1993), reportaron que las micorrizas arbusculares asociadas al *Azotobacter* ejercen un mayor efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas que cuando se utilizan aisladamente; con el consiguiente ahorro de fertilizantes minerales y reducción de los costos. El efecto sinérgico que se establece entre estos microorganismos ha sido observado también en otros cultivos; y pudiera

estar relacionado con los mecanismos de biosíntesis de sustancias promotoras del crecimiento vegetal, el incremento de la absorción de nutrientes o los procesos de fijación del nitrógeno atmosférico. Steinberga et al (1996).

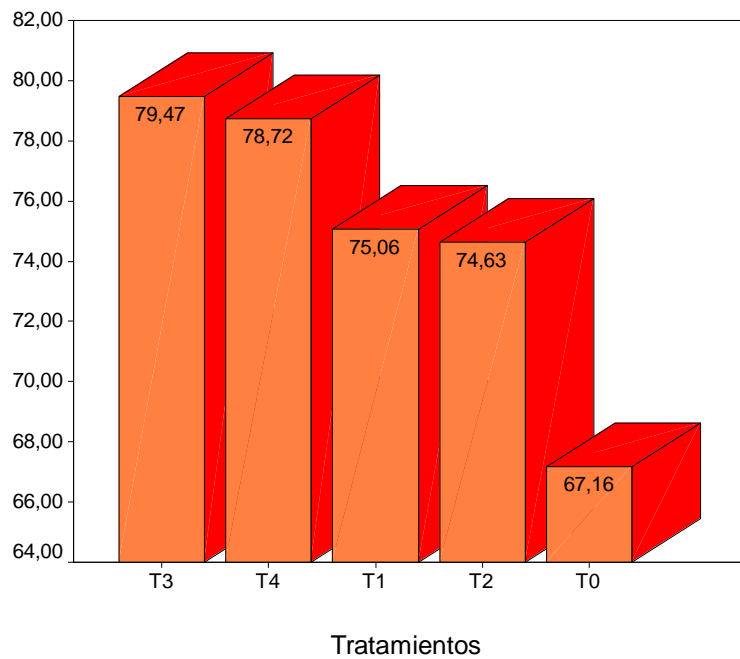


Figura 8. **Peso unitario del fruto (g)**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.5. NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA

Tabla 16. Análisis de varianza de número de frutos por planta

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	131,396	43,798	1,101	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	9371,297	2342,824	58,926	3,26	5,41 **
Error	12	477,103	39,758			
Total	19	9979,796				

CV: 8,094 % Ns: no significativo ** altamente significativo

En la Tabla 16 del análisis de varianza de número de frutos por planta indica que entre bloques no existen diferencias estadísticas y en lo relacionado a los tratamientos existen diferencias estadísticas altamente significativas con un nivel de confianza del 99 %, es decir existen diferencias reales en los promedios de frutos por de los tratamientos, es decir se evidencian mayor o menores efecto sobre la variable de estudio. El coeficiente de variabilidad fue de 8,094 %, siendo aceptable para este tipo de experimento.

Tabla 17. Prueba de significación de Duncan, frutos por planta

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	103,25	a
2	T ₄ : Fertilización química	93,75	a
3	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	83,00	b
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	68,00	c
5	T ₀ Testigo	41,50	d

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

Los resultados de la prueba de significación de Duncan, detallados en la Tabla 17 correspondientes al número de frutos por planta, evidencian que el tratamiento con *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 103,25 frutos de tomate; seguido de la Fertilización química (T₄) con 93,75 frutos, no existiendo diferencias estadísticas entre los dos primeros. En último lugar se ubicó el testigo con 41,50 frutos respectivamente.

Según Martínez et al. (1992), el empleo de *A. chroococcum* en el cultivo del tomate estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por su parte, la inoculación de los cultivos con hongos MVA optimiza la absorción de nutrientes por la planta y la hace más resistente a condiciones medioambientales desfavorables (Ocampo, 1980), se evidencia en el

peso del fruto el efecto positivo con la utilización *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp*

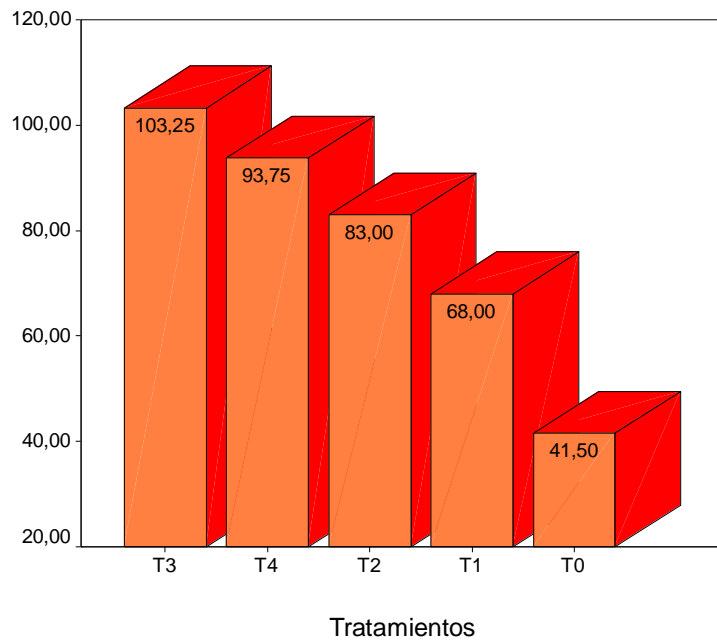


Figura 9. Número de frutos por planta

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.6. PESO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA (kg)

Tabla 18. Análisis de varianza de peso por planta (kg)

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	1579251,0	526417,10	1,028	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	5,764877E+07	1,441219E+07	28,153	3,26	5,41 **
Error	12	6142925	511910,40			
Total	19	6,537094e+07				

CV: 12,725 %

Ns: no significativo ** altamente significativo

En la Tabla 18 del análisis de varianza de peso total de frutos por planta indica que entre bloques no existen diferencias estadísticas. En lo relacionado a los tratamientos apreciamos que existen diferencias altamente significativas con un nivel de confianza del 99 % por lo tanto uno de los tratamientos tiene mayor efecto sobre la variable evaluada. El coeficiente de variabilidad fue de 12,725 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 19. Prueba de significación de Duncan, peso total de frutos por planta (kg)

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus sp</i>	7,55	a
2	T ₄ : Fertilización química	6,64	ab
3	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	6,13	bc
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	5,21	c
5	T ₀ Testigo	2,58	d

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

Los resultados de la prueba de significación de Duncan del peso total de frutos por planta, reflejados en la Tabla 19 demuestran que el tratamiento en combinación de *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 7,55 kg, seguido de la fertilización química (T₄) con 6,64 kg, no existiendo diferencias estadísticas entre los dos primeros (grupo "a"). El menor promedio de Kilogramos de frutos producidos por planta fue para el Testigo (T₀) con 2,58 kg. De acuerdo a los resultados obtenidos en kilogramos de producción por planta se evidencia que tanto *Azotobacter chroococcum* y *Glomus sp*; constituyen fuentes alternativas en la fertilización del cultivo del tomate, como parte de una agricultura de

bajos insumos y que además contribuyen a la preservación del agroecosistema, favorecen la producción de la planta de tomate, sobre todo cuando se combinan los biofertilizantes, en comparación con los demás tratamientos y el testigo sin aplicación.

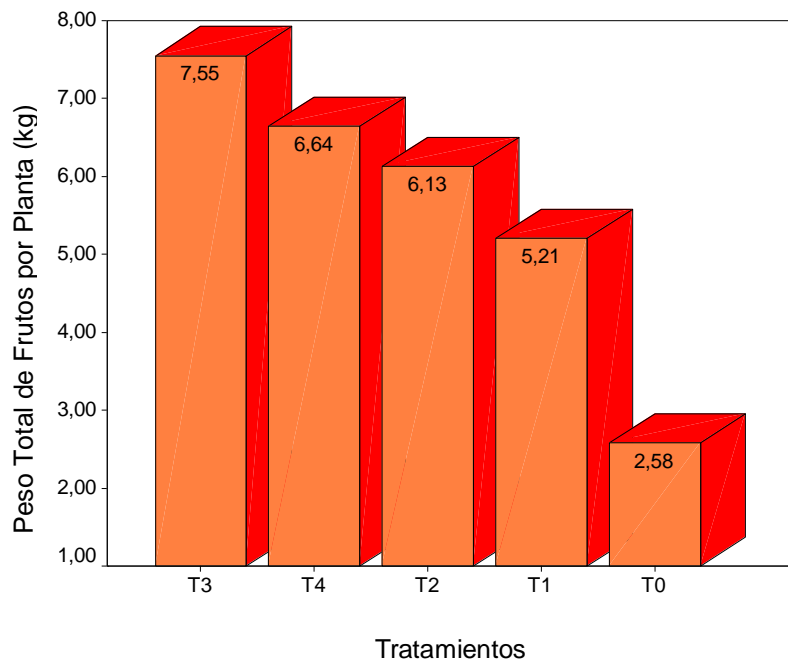


Figura 10. **Peso total de frutos por planta**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.7. CALIBRE DEL FRUTO (cm)

Tabla 20. **Análisis de varianza de calibre del fruto (cm)**

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	3,502197E-02	1,167399e-02	0,374	3,49	5,95 Ns
Tratamientos	4	4,546631	1,136658	36,502	3,26	5,41 **
Error	12	0,3736694	3,113912e-02			
Total	19	4,955322				

CV: 3,822 %

Ns: no significativo ** altamente significativo

En la Tabla 20 observamos los resultados del análisis de varianza del calibre del fruto indica que entre bloques no existen diferencias estadísticas, mientras que en lo relacionado a los tratamientos existen diferencias estadísticas altamente significativas con un nivel de confianza del 99%. Por lo tanto uno de los tratamientos logró mayor promedio que los demás. El coeficiente de variabilidad fue de 3,822 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 21. Prueba de significación de Duncan de calibre del fruto (cm)

Orden	Tratamientos	Promedio	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : <i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Glomus</i>	5,36	a
2	T ₄ : Fertilización química	4,68	b
3	T ₂ : <i>Glomus sp</i>	4,62	b
4	T ₁ : <i>Azotobacter chroococcum</i>	4,52	b
5	T ₀ testigo	3,86	c

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

De los datos obtenidos de la evaluación del calibre de frutos por tratamiento el promedio más alto fue para el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) con 5,36

La Tabla 21, de la prueba de significación de Duncan del calibre del fruto señala el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) con 5,36 superando estadísticamente al resto de tratamiento; en el segundo lugar fue con fertilización química (T₄) con 4,68, le sigue en el tercer lugar *Glomus Sp* (T₂) con 4,62, en el cuarto lugar *Azotobacter chroococcum* con 4,52 en y en último lugar se ubicó el testigo 3,865 cm

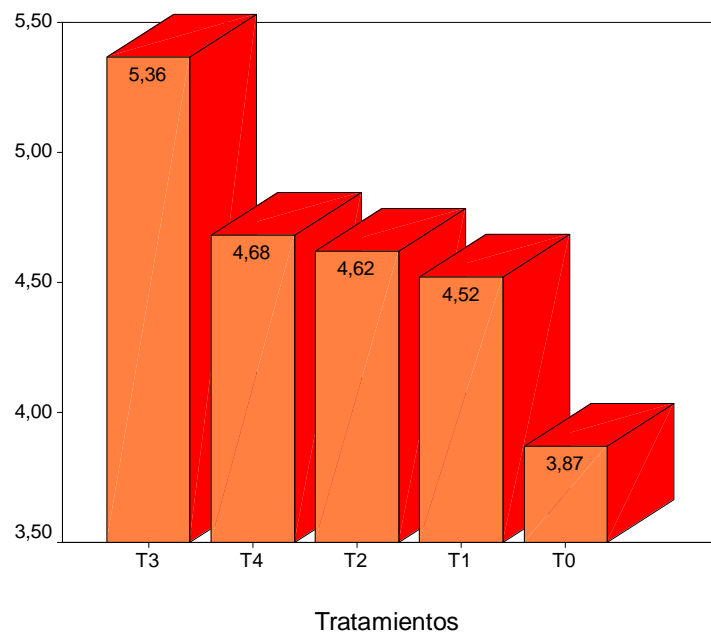


Figura 11. **Calibre del fruto (cm)**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp.*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp.*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

4.8. RENDIMIENTO (t/ha)

Tabla 22. **Análisis de varianza de rendimiento (t/ha)**

F. V	GL	SC	CM	FC	F α	
					0,05	0,01
Bloques	3	16,142	5,380	2,146	3,49	5,95 NS
Tratamientos	4	747,668	186,917	74,554	3,26	5,41 **
Error	12	30,085	2,507			
Total	19	793,896				

CV: 5,841 %

Ns: no significativo ** altamente significativo

La Tabla 22 del análisis de varianza de rendimiento (t/ha) indica que entre bloques no existen diferencias estadísticas, en lo relacionado a los tratamientos existen diferencias estadísticas es decir existen diferencias alta con un nivel de confianza del 99%. Por lo tanto uno de los tratamientos tiene mayor efecto sobre la variable rendimiento El coeficiente de variabilidad fue de 5,841 %, siendo aceptable para este de experimento.

Tabla 23. Prueba de significación de Duncan de rendimiento (t/ha)

Orden	Tratamientos	Promedio T/Ha	Significación $\alpha = 0,05$
1	T ₃ : Azotobacter chroococcum + Glomus sp	33,82	a
2	T ₄ : Fertilización química	30,94	b
3	T ₂ : Glomus sp	27,77	c
4	T ₁ : Azotobacter chroococcum	27,18	c
5	T ₀ testigo	15,85	d

Letras iguales no difieren estadísticamente $p < 0,05$

La Tabla 23, de la prueba de significación de Duncan rendimiento señala el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃); con 33,82 t/ha superando estadísticamente al resto de tratamientos; en el segundo lugar fue fertilización química (T₄) con 30,94 t/ha; en el tercer lugar se ubicó *Glomus Sp* (T₂) con 27,77 t/ha, en el cuarto lugar *Azotobacter chroococcum* (T₁) con 27,18 t/ha y en último lugar se ubicó el testigo 15,85 t/ha. Al analizar el rendimiento en frutos (t/ha) como se expresa en el cuadro, se observa como tendencia que la productividad del tomate es favorecida cuando se combinan los biofertilizantes ensayados, lo que evidencia la acción sinérgica de los mismos, obteniéndose el mayor promedio y el peor para el testigo sin biofertilizar, siendo este último superado significativamente por los restantes tratamientos. Los resultados

obtenidos están en correspondencia con los reportes realizados por Medina y Pino (1992), quienes evaluando diferentes tipos de bacterias y *Glomus sp* en el cultivo del tomate, obtuvieron altos niveles de rendimiento y buen estado nutricional de las plantas; efectos estos que se hacen más marcados cuando se combinan los biofertilizantes.

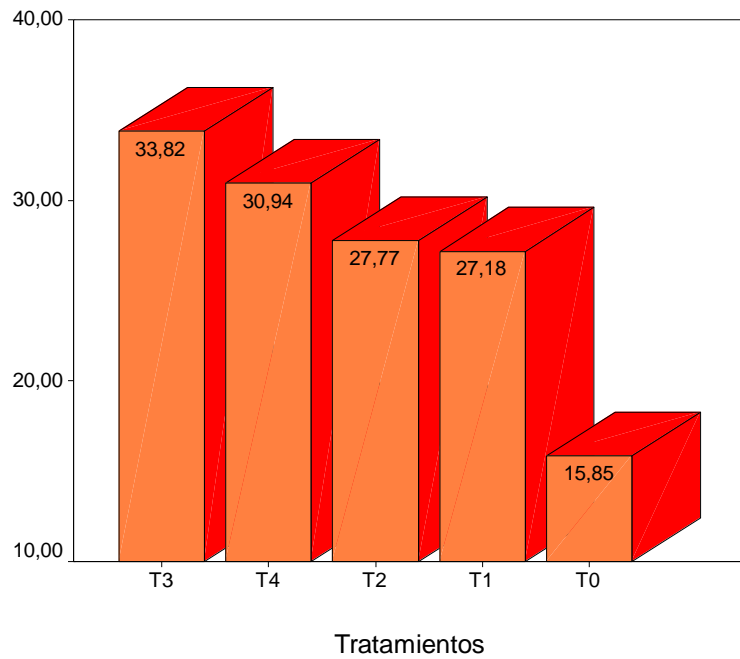


Figura 12. **Rendimiento (t/ha)**

Leyenda: T₁: *Azotobacter chroococcum*; T₂: *Glomus sp*, T₃: *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp*, T₄: Fertilización química, T₀: Testigo

V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente Tesis indican que *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃); influenciaron positivamente en el desarrollo vegetativo de tomate cv. Río Grande, aumentando la altura planta, peso promedio de fruto, rendimiento del cultivo y están en correspondencia con los reportes realizados por Medina y Pino (1992), quienes evaluando diferentes tipos de bacterias y hongos MVA en el cultivo del tomate, obtuvieron altos niveles de rendimiento y buen estado nutricional de las plantas; efectos que se hacen más marcados cuando se combinan los biofertilizantes.

El nivel de predominio de las especies microbianas en las raíces de las plantas está dado por la interacción planta - microorganismo, que repercute en la selección e influencia de los mismos en función de la variabilidad de los exudados radicales de las plantas inoculadas (Azcón, 2000)

Lozada y Rivas (2010) explicaron que el suministro de nutrientes, particularmente nitrógeno, junto a la inoculación de *Azotobacter spp.* permiten mejores respuestas en los cultivos, debido a que las bacterias

fijadoras de nitrógeno para su establecimiento en el suelo requieren condiciones como temperatura, pH, humedad y fuentes nutricionales de carbono, nitrógeno y fósforo. La inoculación del consorcio de cepas nativas de *Azotobacter spp.* disminuyó el número de días a la floración y permitió alcanzar valores en volumen y biomasa radicular así como en altura y biomasa seca total y de la parte aérea que no fueron estadísticamente diferentes los obtenidos con los tratamientos donde se aplicó el consorcio con 50% de urea más 100% de roca fosfórica, así como cada una de las cepas de *Azotobacter spp.* más los fertilizantes químicos.

Según Martínez *et al.* (1992), el empleo de *A. chroococcum* en el cultivo del tomate estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por su parte, la inoculación de los cultivos con hongos MVA optimiza la absorción de nutrientes por la planta y la hace más resistente a condiciones medioambientales desfavorables.

La particularidad de la bacteria *Azotobacter* y de los hongos micorrizógenos como microorganismos heterótrofos, posibilita que su reproducción y actividad se vea favorecida cuando en el suelo existen niveles adecuados de materia orgánica. Así, la adición de estiércol ovino

contribuye no sólo al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas, biológicas y edáficas, sino que además mejora la acción biofertilizante y bioestimulante del *Azotobacter chroococcum* y del *Glomus spp.* a quienes les sirve de soporte energético-nutricional.

En el estudio realizado por Pulido *et al.*, 2003 sobre efecto de la biofertilización sobre la altura de las plantas se demostró en investigaciones precedentes, al inocular diferentes especies de HMA (*G. clarum*, *G. fasciculatum* y *G. mosseae*) en los cultivos de tomate y, donde se encontró que los tratamientos inoculados superaron al testigo para las variables de altura con valores para altura que estuvieron en el rango 46,04 – 78,19% mientras que para la longitud radicular oscilaron entre 28,38 y 91,25 % sus resultados coinciden con los obtenidos en la presente investigación donde los tratamientos inoculados superaron significativamente al testigo

De acuerdo a los resultados obtenidos es evidente que *Azotobacter spp.* + *Glomus spp.* inoculado actúa sinérgicamente con ésta y le permite una mejor absorción de los nutrientes de tal forma que esta mejor asimilación de nutrientes se ve reflejada en el incremento en el rendimiento del cultivo que según la prueba de significación de Duncan alcanza 33,82 t/ha en

comparación con la fertilización química (T₄) con 30,94 t/ha y el testigo con tan solo 15,85 t/ha.

Los resultados reportados por Kannaiyan *et al.* (1980), confirman el efecto positivo de la biofertilización foliar con *Azotobacter* en cultivos como el arroz, los cuales tuvieron incrementos en el rendimiento en grano en este cultivo con la aplicación de esta rizobacteria donde los incrementos variaron de 0,3 a 0,8 toneladas por ha respectivamente . De igual forma se ha evidenciado que la respuesta de la planta a la inoculación depende del nivel de fertilidad del suelo, de la planta hospedera y de las bacterias (Sharda y Rodrigues, 2008)

Por otra parte según Bethlenfalvay *et al.* (1992), el efecto beneficioso de estos microorganismos, en gran medida, no se debe al nitrógeno fijado, cuya cantidad puede ser exigua, sino a las sustancias fisiológicamente activas que son excretadas al medio circundante (la rizósfera), de donde son tomadas por las raicillas absorbentes de las plantas, produciendo en estas un aumento del crecimiento y por consiguiente del rendimiento al ser absorbidas en determinadas concentraciones.

Solares, R. en el año 2007 en su investigación con cinco dosis del hongo micorrizogénico (*Glomus fasciculatum*) sobre el rendimiento concluye que al emplear dicho hongo micorrizogénico en dosis de 90 gramos por cada 454 gramos de semilla de sandía previo a la siembra diluido en 100 centímetros cúbicos de agua, se incrementó el rendimiento respecto al testigo (sin hongo micorrizogénico) en un 23 %, obteniendo 31,62 t/ha de sandía, inferior al obtenido en la presente investigación.

Mamani E. (2009) utilizando *Azotobacter chroococcum* y *Glomus fasciculatum* en el rendimiento de dos especies de ají (*Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*) donde el mayor rendimiento en peso seco se obtuvo con la combinación de *Azotobacter chroococcum* + *Glomus fasciculatum* alcanzando el mayor promedio con 6,19 t/ha, seguido del tratamiento *Glomus fasciculatum* con 5,97 t/ha y *Azotobacter chroococcum* con 5,67 t/ha siendo estos tratamientos estadísticamente similares, en cuanto al testigo sin inoculantes que alcanzó un rendimiento inferior de 4,83 t/ha coincidiendo con los resultados del presente trabajo de tesis.

Los resultados obtenidos en este trabajo están en correspondencia con los reportados por Steinberga *et al.* (1996), quienes coinciden en señalar que la

inoculación del suelo con *Azotobacter* mejora notablemente el crecimiento y el desarrollo de las plantas, lo cual pudiera estar relacionado con su efecto biofertilizante y con la capacidad de esta bacteria para sintetizar determinadas sustancias, que actúan como bioestimulantes del crecimiento vegetal, tales como: aminoácidos, vitaminas, fosfolípidos, ácidos grasos, auxinas, giberelinas y citoquininas; compuestos que son capaces de incrementar el vigor general de las plantas y acelerar los procesos de floración, fructificación y la producción de materia seca.

Los resultados obtenidos nos llevan a considerar el uso de estas biotecnologías como alternativas de fertilización en el cultivo de tomate, con el fin de disminuir los costos económicos y ambientales en la producción de este cultivo.

Aunque el nitrógeno molecular (N_2) constituye casi el 80% de la atmósfera terrestre, las formas que son asimilables para la planta son por lo general escasas, esto se debe a la gran cantidad de energía que se requiere para romper el enlace triple de esta molécula, de manera que los átomos simples de nitrógeno se puedan combinar con hidrógeno u oxígeno para formar NH_3 y NO_3 , compuestos que pueden ser utilizados por las plantas. La fijación biológica del N_2 en la naturaleza solo es hecha por unos pocos

organismos procariotes que contiene la información genética para sintetizar la enzima nitrogenasa, que cataliza la conversión de N_2 a NH_3 en las condiciones normales de temperatura y presión del suelo. De todos los microorganismos estudiados como fijadores no simbióticos, *Azotobacter chroococcum* ha sido el más promisorio, apreciando los diversos estudios que han servido como referencia para el presente trabajo e tesis.

Un aspecto relevante es lo referido por Pérez *et al.* (1993), quienes reportaron que las micorrizas arbusculares asociadas al *Azotobacter* ejercen un mayor efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas del boniato, que cuando se utilizan aisladamente; con el consiguiente ahorro de fertilizantes minerales y reducción de los costos, esto se corroborado en la presente investigación donde *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* tuvieron el mayor efecto sobre las variables evaluadas, al respecto (Steinberga *et al.*, 1996) señala que este efecto sinérgico que se establece entre estos dos microorganismos ha sido observado también en otros cultivos; y pudiera estar relacionado con los mecanismos de biosíntesis de sustancias promotoras del crecimiento vegetal, el incremento de la absorción de nutrientes o los procesos de fijación del nitrógeno atmosférico, esto coincide con lo manifestado por

Medina (2001) quien comprobó que con el uso de estos biofertilizantes se puede estimular el crecimiento y desarrollo vegetal y se pueden producir plantas más vigorosas y en menor tiempo, evidenciándose la capacidad de las micorrizas, cuando son inoculadas de forma independiente ó combinadas con bacterias rizosféricas, de garantizar las necesidades nutricionales de las plantas en no menos de un 50% sin afectar los rendimientos del cultivo y la calidad de la cosecha, lo que permite a su vez la sustitución de la fertilización mineral en niveles similares y reducir los costos de producción, sus resultados coinciden con los resultados de la presente investigación donde la inoculación de hongos MA y bacterias rizosféricas del género *Azotobacter* incrementó de manera significativa el rendimiento y el resto de parámetros agronómicos este cultivo en comparación con el testigo (sin aplicación).

VI. CONCLUSIONES

El mayor rendimiento t/ha de tomate se obtuvo con la combinación *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) con 33,82 t/ha; seguido de la fertilización química (T₄) con 33,82 t/ha; superando con diferencias altamente significativas según la evaluación estadística al testigo que obtuvo un rendimiento de 15,85 t/ha.

Para el peso total de frutos por planta (kg) *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 7,54 kg seguido de la fertilización química (T₄) con 6.64 kg. Respecto al peso unitario del fruto el tratamiento con *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 79,47 g seguido de la fertilización química (T₄) con 78,72 g.

En el calibre del fruto, el tratamiento *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 5,36 cm y en último lugar se ubicó el testigo 3,865 cm.

Para la variable número de frutos por planta se evidenció que el tratamiento con *Azotobacter chroococcum* + *Glomus sp* (T₃) obtuvo el mayor promedio con 103,25 frutos, seguido de la Fertilización química (T₄) con 93,75 frutos y en último lugar se ubicó el testigo con 41,50 frutos respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

1. Ampliar los estudios en otros cultivos con la finalidad de poder obtener productos cada vez más naturales.
2. Desde el punto de vista investigativo se recomienda realizar ensayos con diferentes dosis de *Azotobacter spp* y *Glomus spp* y diferentes frecuencias de aplicación.
3. Desarrollar la investigación en otras localidades donde se cultiva esta planta en la Región Tacna.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, A., et al (2009) “Efecto de diferentes concentraciones de *Azotobacter chroococcum* sobre algunos parámetros del crecimiento y el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill)”
- ALARCÓN, A. et al (2013) “Efecto de las micorrizas arbusculares y *Meloidogyne* spp. en tomate (*Solanum lycopersicum* L.)”
- ALEXANDER T. (1988) Dynamics of arbuscule development and degeneration in micorrizas of *Triticum saetivum* L. and *Avena sativa* L. with reference to *Zea mays* L. New Phytol EE.UU. 153 pp.
- ANDELIN R., (1989). El cultivo de tomate, 3^{ra} Ed. Ediciones CEAC. Madrid – España. 110 pp.
- ALQUILANTI L, FAVILLI F, CLEMENTI F. (2004). Comparison of different strategies for isolation and preliminar identification of

Azotobacter from soil samples. Soil Biol Biochem 36:1475-1483

- ATHERTON, J.G. AND J. RUDICH. 1986. In: Tomato crop. Chapman and Hall, London, New York. pp. 661.
- AYCAYA G. (2012) "Influencia de la biofertilización con *Azotobacter chroococcum* en la producción y calidad de cebolla rosada (*Allium cepa* L.) en el valle de Locumba". Tesis biólogo-Microbiólogo. UNJBG
- AZCÓN-AGUILAR, C y J. M. Barea. (1996) Interacciones de las micorrizas arbusculares con microorganismos rizosféricos. p. 47-68. En: E. Guerrero. Micorrizas. Recursos biológicos del suelo. Bogotá, Colombia: Fondo FEN.
- BAGO B. (1999) Nuclei of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi as revealed by in vivo two- photon microscopy. Protoplasma EE.UU. 25 pp.
- BECARD G. PFEFFER P. (1993) Status of nuclear division in arbuscular mycorrhizal interaction. EE.UU. 18 pp.

- BETHLENFALVAY, G. LINDERMAN, J. (1992) Mycorrhizae and crop productivity. Horticultural Crops Research Laboratory. USDA – ARS. (1 – 27). EE.UU. 250 pp.
- BERENGUER, J. (2003) Manejo del cultivo de tomate en invernadero. En: Javier Z. Castellanos. y José de Jesús Muñoz. (Eds.)
- BERNAL, G; y MORALES, R. 2 006. Micorrizas: Importancia, Producción e investigación en el Ecuador. ANCUPA. Quito-Ecuador. 56p.
- BECKING JH (2006) The family Azotobacteraceae. En Dworkin M, Falkow S (eds.) The 90
- BLOEMBERG, G. V., and B. J. J. LUGTENBERG. (2001). Molecular asis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. Curr. Opin. Plant Biol., 4:343-350.

- CALVERT, A. 1964. The effects of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 34: 154-162
- CARLILE MJ, WATKINSON SC, Gooday GW. (2001) The Fungi. 2nd. Ed. Academic Press, San Diego
- CASTILLO J., CASAS J. & MARTINEZ M. 2005. Evaluación de la degradación de endosulfan por *Azotobacter chocoocum* y determinación del efecto plaguicida sobre la fijación biológica de nitrógeno y sobre la producción de auxinas. Tesis de microbiología Agrícola y Veterinaria. Pontificia Universidad Javeriana. Pag. 13, 14.
- CASTRO, M. 1991. Efecto de la densidad de plantas, el raleo de frutos y poda de racimos sobre la producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Taller de Licenciatura Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 76p.

- CHAMARRO, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. *In*: Nuez, F. ed. El cultivo del tomate. Madrid, Mundi-Prensa. pp.44-91
- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. 1986. Monografías hortícolas. Tomate, arveja, brócoli, zanahoria. Santiago, PUC-CORFO. 99p
- DE KONING, A. N. 1988. The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 63: 465-471
- DIBUT, B. 2000. Obtención de un bioestimulador del crecimiento y el rendimiento vegetal para el beneficio de la cebolla (*Allium cepa* L.). La Habana. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
- DUCHICELA, J; y GONZÁLEZ Ma. del C. 2003. La Micorriza Arbuscular en el Contexto de la Agricultura Sustentable. Monografía CEINCI – 02 – 03. 19p.

- FAOSTAT. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- F.A.O. (2013) producción y comercialización de tomate a nivel mundial
- FERRARIS C. (2011) Evaluación de la Inoculación con Micorrizas en Maíz bajo diferentes Ambientes de Fertilidad. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN. 36 pp.
- GIACONI M, V. Y ESCAFF G., M.(2004) Cultivo de hortalizas. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. XV ed. 337 p
- GIOVANNETTI M. (2002) Arbuscular Mycorrhizal fungal mycelium: from germlings to hiphal net works. Mycorrhizal Technology in agriculture. 35 pp.
- GRIENSON, D. and KADER, A. 1986. Fruit ripening and quality. In: Atherton, J. and Rudich, J. eds. The Tomato Crop: a scientific basis for improvement. London, Chapman & Hall. pp.241-280

- HARRISON MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Rev. Microbiol. EE.UU. 25 pp.
- HAYAT R, ALI S, AMARA U, KHALID R, AHMED-I-(2010)-Soil-beneficial- bacteria and their role in plant growth-promotion.-A-review.- Ann. Microbiol. 60:-579-598.
- HERNÁNDEZ, M. I. 2001 Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [Tesis de Maestría], INCA.
- Ho and HEWITT, D. 1986. Fruit development. In: Atherton, J. and Rudich, J. eds. The Tomato Crop. London, Chapman & Hall. pp.201-
- HO, L. (1996) Tomato *In*: Zamski, E.; Schaffer, A. eds. Photoassimilate distribution in plant and crops. New York, Marcel Dekker, Inc. pp. 709-728

- IDEMA. (2000) Los fertilizantes biológicos nitrogenados. Instituto de Defensa del Medio Ambiente. Arequipa – Perú.
- INFOAGRO (2013) cultivo de tomate
- JOHANSSON F, PAUL L, FINLAY R. (2004) Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology*, 48: 1-13
- JOSHI P, JUWARKAR AA (2009) In-vivo studies to Elucidate the Role of Extracellular Polymeric Substances from *Azotobacter* in immobilization of heavy metals. *Environ Sci Technol* 43(15):5884-5889
- JOINT GENOME INSTITUTE (2009) Taxon Details
- KANNAIYAN, S., GOVINDARAJAN, K., LEWIN, H. D. 1980. Effect of foliar spray of *Azotobacter chroococcum* on rice crop. *Plant and soil* 6: 487-490.

- KENNEDY C, RUDNICK P, MACDONALD M, MELTON T (2005) Genus III: Azotobacter. En: Garrity GM (ed) Bergey`s Manual of Systematic Bacteriology. Second edition.
- KINET, J.M. AND PEET, M.M. (1997) . Tomato. p.207-258. In: H.C. Wien (ed.), The physiology of vegetable crops. Commonwealth Agricultural Bureau.
- LARA, C.; VILLALBA, M.; OVIEDO, L.(2007). Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la Zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. Revista Colombiana de Biotecnología 9 (2): 6-14.
- LÓPEZ, C; y BARCELÓ, A. 2 001. Sobre Micorrizas. Científico (CSIC) en la Estación Experimental La Mayora. Investigadora del C.I.F.A.
- LOZADA L.; Rivas, C. 2010. Evaluación del efecto de la inoculación de *Azotobacter* spp. en plantas de ají dulce (*Capsicum frutescens*). Trabajo de grado Técnico Superior Agrícola. Universidad de los Andes, Trujillo

- MACKIE F. (1999) Efecto de inoculantes a base de *Azotobacter* y Hongos micorrízicos en maíz y cebada bajo invernadero en Ayacucho. Manejo Integral de Suelos. Perú.
- MAMANI E. (2010) en su trabajo de investigación titulado "Efecto de la coinoculación con *Azotobacter chroococcum* y *Glomus fasciculatum* en el rendimiento de dos especies de ají (*Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*) en condiciones del valle de Ite,
- MARTÍNEZ, M; HERNÁNDEZ, A.; FURRAZOLA, E.; García, M. (1992): En: Resúmenes del I Taller Internacional Bioferto' 92. INCA, La Habana, p. 44.
- MRKOVACKI N, MILIC Y (2001) Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Ann Microbiol 51:145-158.
- MAROTO, J. (1994). Horticultura Herbácea Especial. 4ª. ed. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 611 p.

- MARTYNIUK S, MARTYNIUK M (2003) Occurrence of Azotobacter Spp. in Some Polish Soils. *Pol J Environ Stud* 12(3):371-37
- MATSUMOTO L.S., MARTINES A.M., AVANZI M.A., ALBINO U.B., BRASIL C.B., SARIDAKIS D.P., RAMPAZO L.G.L., ZANGARO W., and ANDRADE G. (2005). Interactions among functional groups in the cycling of, carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. *Appl Soil Ecol* 28(1): 57–65.
- MEDINA, N. Y PINO, M. C. (1992): En: Resúmenes del I Taller Internacional Bioferto' 92. INCA, La Habana, p. 38.
- MEDINA, N. (2001) La Biotecnología en la Agricultura cubana. El uso de microorganismos del suelo como biofertilizantes para cultivos tropicales. IV Encuentro de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba, 2001. p 496.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (2012) oficina de información agraria

- MYCOSYM INTERNATIONAL (2012)
- MUJICA, Y. MEDINA, N (2008) Respuesta del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la formulación líquida de cuatro cepas de glomus en condiciones de campo.
- NICOLALDE A. (2010) Utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno (azotobacter) y solubilizadoras de fósforo en el cultivo de Brocoli (*brassica oleraceae* var. legacy) en Otavalo.
- NUEZ F., 2001. "El cultivo de tomate" Edit. Mundi- prensa. Madrid – España. 793 pp.
- OSORIO A. (2012) Efecto de materiales orgánicos, fertilizantes e inóculos microbiales sobre el crecimiento y nutrición de plántulas de vainilla. Tesis de Maestría en Bosques y Conservación Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- OLSEN, J. R. [et al.]. (1996) Response of Capsicum (*Capsicum annum*, L), sweet corn (*Zea mays*, L) and tomato (*Lycopersicon*

esculentum, Mill) to inoculation with VAM. Aust. J. Agric. Res. 47:651-671,

- OWEN, H. and AUNG, L. 1990. Genotypic and chemical influences on fruit growth of tomato. HortScience 25: 1255-1257
- PÉREZ, A. [et al.] (1993) Influencia de la biofertilización en el cultivo del boniato. En: IV Simposio de Botánica. EXPOCUBA. La Habana, 1993. p 85.
- PÉREZ S. (1997) Producción de biofertilizante a partir de *Azotobacter chroococcum*. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- PÉREZ, A.C.; PEROZA, V.C. 2011. Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angletón en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Colombia. Revista MVZ
- PICKEN, A.; STEWART, A. AND KLAPWIJK, D. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton, J. and Rudich, J. (eds). The Tomato Crop. London, Chapman & Hall. pp.111-166

- PULIDO, L. E.; CABRERA, A. Y MEDINA, N. La biofertilización con Rizobacterias y hongos micorrizicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicum sculentus*, Mil) y cebolla (*Allium cepa*). II Colonización radical y estado nutricional. Cultivos tropicales, 2003, vol. 24 no 2, p. 5-13
- RODRÍGUEZ, R.; TABARES, J.M. y MEDINA, J.A. (1984). El cultivo moderno del tomate. Madrid, Mundi-Prensa. 552 p.
- RUIZ A, (2001). Instrucciones técnicas para la biofertilización con micorrizas, azotobacter y fosforina en fruta bomba, guayaba y aguacate. INIVIT. Santo Domingo, Sta Clara Cuba.
- SCHAFFER, A.; PETREIKOV, M.; MIRON, D.; FOGELMAN M.; SPIEGELMAN M.; BNEI-MOSHE, Z. and SHEN, S. 1999. Modification of carbohydrate content in developing tomato fruit. HortScience 34: 1024-1026.
- SHARDA, W. K., RODRIGUES, B. F. 2008. Ecology of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Carica papaya* L. in agro-based

ecosystem of Goa, India. Tropical and Subtropical Agroecosystems 8: 265-278.

- SOLARES R. (2007) influencia de cinco dosis del hongo micorrizogénico (*Glomus Fasciculatum*) sobre el rendimiento de sandía
- SOLÓRZANO, E. (2001). Proteínas de defensa y estudio enzimática en la interacción tomate-*Alternaria solani*. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana. 100p.
- STEINBERGA, V. [ET AL.] (1996) The effect of azotobacterin on the crop yield and biological activity of soil. In: Proceedings of Second European Nitrogen Fixation Conference Poznan, 1996. p. 191.
- SETUBAL J., (2009) Dos Santos P., Goldman B., Ertesvåg H., Espin G., Rubio L., Valla S., Genome sequence of *Azotobacter vinelandii*, an obligate aerobe specialized to support diverse anaerobic metabolic processes. J. Bacteriol. 2009 4534–4545

- SWIFT, M.J. IZAC A-M.N. and VAN NOORDWIJK M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 113-134
- THRUPP, L. A. (2007) *Cultivating diversity: agrobiodiversity and food security*. World Resources Institute, Washington, D.C
- ZHUANG X, CHEN J, SHIM H, BAI Z. (2007). New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. *Environment international*, 33: 406-413

ANEXOS

Anexo 1. Altura de planta a los 30 días (cm)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	20,50	19,40	18,6	18,9
T ₁	24,57	23,50	24,36	20,45
T ₂	25,41	24,44	24,52	26,50
T ₃	23,59	24,60	24,65	25,68
T ₄	25,87	25,62	24,53	26,85

III.

Anexo 2. Altura de planta a los 60 días (cm)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	55,53	50,12	58,65	54,42
T ₁	57,80	59,65	60,05	60,12
T ₂	65,42	68,15	65,42	66,18
T ₃	67,42	64,45	62,35	66,42
T ₄	64,25	62,18	64,45	62,15

Anexo 3. Altura de planta a los 90 días

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	85	83	87	80
T ₁	105	104	109	112
T ₂	103	99	81	95
T ₃	88	90	89	86
T ₄	95	96	98	96

Anexo 4. Número de frutos por racimo (cm)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	3,0	4,0	3,0	3,0
T ₁	4,0	3,0	4,0	5,0
T ₂	3,5	4,0	3,0	3,0
T ₃	4,5	4,5	4,0	4,0
T ₄	5,0	4,0	4,0	4,0

Anexo 5. Número de racimos por planta

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	20	21	25	21
T ₁	27	29	38	26
T ₂	42	48	52	40
T ₃	50	47	46	44
T ₄	37	38	42	40

Anexo 6. Peso unitario del fruto (g)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	68,45	65,32	68,44	66,42
T ₁	75,60	80,34	71,68	72,63
T ₂	72,05	78,42	76,45	71,60
T ₃	77,10	82,0	84,52	74,45
T ₄	80,12	78,52	70,62	85,62

Anexo 7. Número de frutos por planta

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	39	40	44	43
T ₁	62	59	79	72
T ₂	73	86	81	92
T ₃	98	91	96	90
T ₄	99	110	106	98

Anexo 8. Rendimiento por planta (kg/planta)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	2749,50	2276	2745,60	2563,20
T ₁	3927,70	4460,40	6969,92	5482,74
T ₂	5259,65	6744,12	6587,20	5911,38
T ₃	7572,40	7104,12	7624,98	7892,92
T ₄	6677,72	7145,32	6168,96	6585,30

Anexo 9. Calibre del fruto (cm)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	4,02	3,85	3,84	3,75
T ₁	4,51	4,73	4,61	4,71
T ₂	4,59	4,64	4,56	4,34
T ₃	5,34	5,09	5,41	5,62
T ₄	4,97	4,70	4,60	4,45

Anexo 10. Rendimiento (t/ha)

Tra/Bloq.	I	II	III	IV
T ₀	15,42	17,72	14,50	15,45
T ₁	25,74	28,52	26,45	28,00
T ₂	26,45	27,85	28,64	28,12
T ₃	29,85	30,00	32,45	31,45
T ₄	32,45	37,85	30,65	34,32

Anexo 11. **Galería Fotográfica**



1. Germinación de *Lycopersicon sculentum* L en de Bandejas.



2. Monitoreo del crecimiento en Bandejas de Germinación.



3. Preparación de las plantas para el trasplante a campo definitivo



4. Suelos Agrícolas de Pocollay, preparación del terreno y trasplante.



5. Trasplante.



6. Reconocimiento de malezas.



7. Deshierbado



8. Evaluación de *Lycopersicon sculentum* L en terreno definitivo.



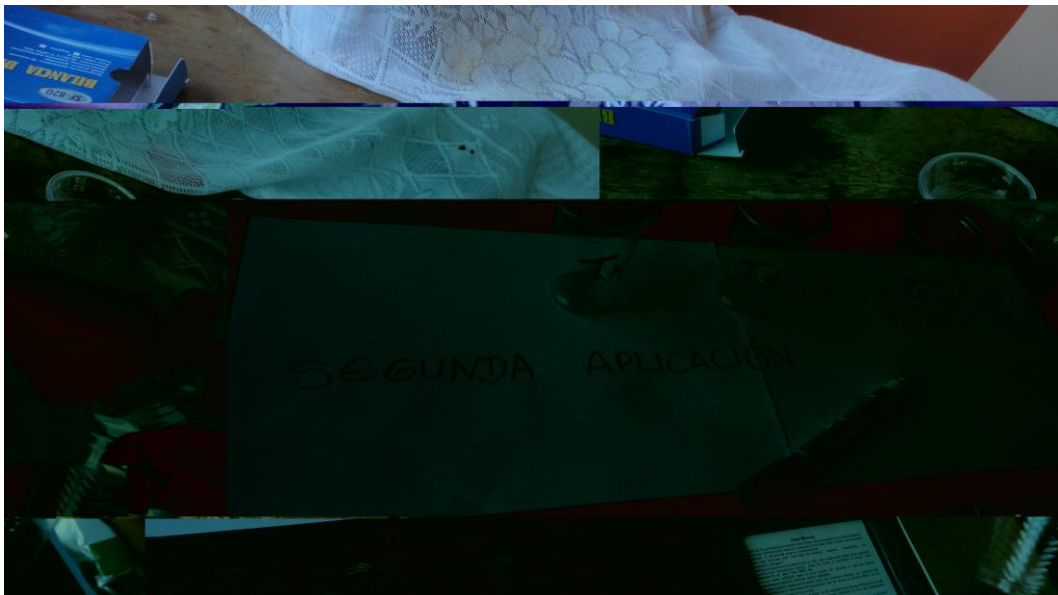
9. Identificación de surcos por tratamiento.



10. Crecimiento.



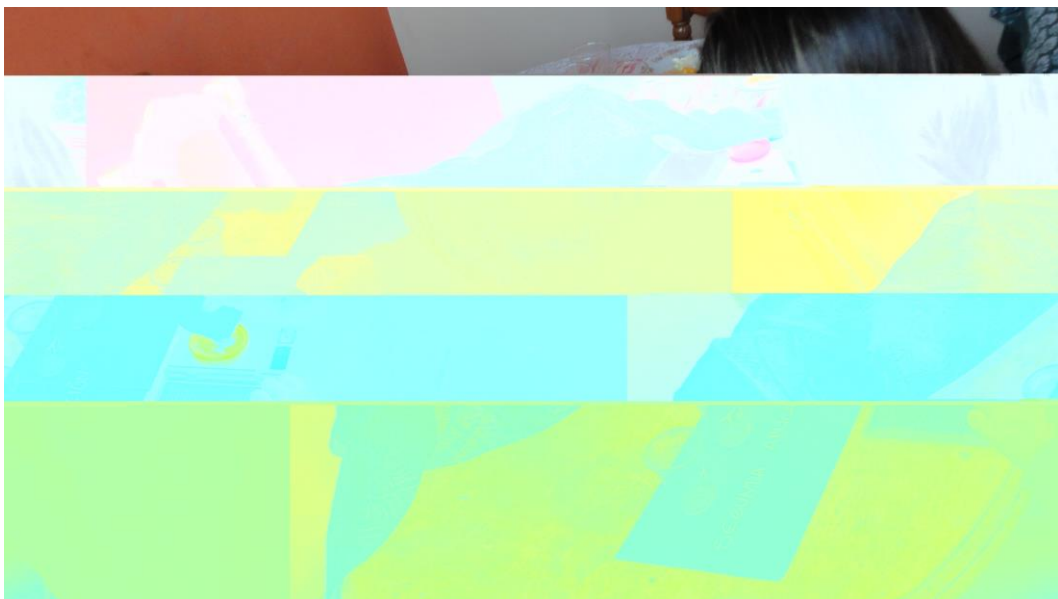
11. Aparición de la primera floración.



12. Preparación de concentraciones de acuerdo a la evaluación de inoculación con *Azotobacter Chroococcum* y *Glomus sp.*



13. Pesaje de biofertilizante por tratamiento.



14. Preparación de concentraciones por tratamiento.



15. Identificación de recipientes por tratamiento.



16. Preparación de las soluciones con bifertilizante por tratamiento.



17. Soluciones con concentraciones diferentes de biofertilizante por tratamiento.



18. Aplicación de las Soluciones con concentraciones diferentes de biofertilizante por 4 tratamientos y un testigo.



19. Aplicación de las Soluciones con concentraciones diferentes de biofertilizante por 4 tratamientos.



20. Tratamiento N°04



21. Floración de *Lycopersicon esculentum* L



22. Evaluación de floración de *Lycopersicon esculentum* L y altura de la planta a los 30 días.



23. Recolección de datos en Campo



24. Evaluación de número de racimos y número de frutos por planta.



25. Evaluación de la altura de la planta a los 90 días.



26. Flores de *Lycopersicon sculentum*.



27. Frutos de *Lycopersicum sculentum*.



28. Planta de *Lycopersicum sculentum*.



29. Racimo de 6 frutos de *Lycopersicon sculentum*.



30. Pesaje de *Lycopersicon sculentum*.



31. Medición del calibre de fruto de *Lycopersicum sculentum*.