

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento de Variables Agronómicas del Cultivo de Ajo  
(*Allium sativum* L.) Mediante Promotores de Crecimiento Vegetal a Base de  
Bacterias del Género *Bacillus*

Por:

**ULISES OVALLE GÓMEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comportamiento de Variables Agronómicas del Cultivo de Ajo  
(*Allium sativum* L.) Mediante Promotores de Crecimiento Vegetal a Base de  
Bacterias del Género *Bacillus*

Por:

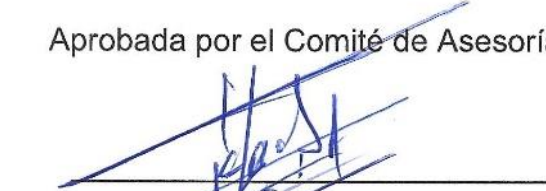
**ULISES OVALLE GÓMEZ**


TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Asesor Principal

  
Dr. Valentín Robledo Torres  
Coasesor

  
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2017.

## AGRADECIMIENTO

A mi “**ALMA MATER**” por haberme brindado la oportunidad de concluir con éxito mi carrera profesional de la cual me siento orgulloso de formar parte y de ser un egresado de esta institución llena de valores.

Al **Dr. Gabriel Gallegos Morales** por su valiosa amistad y confianza que depositó en mí para llevar a cabo esta investigación, dedicando tiempo y esfuerzo para su realización y revisión del mismo como también por compartir sus conocimientos y experiencias.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A la **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

Al **Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A los **Ingenieros, Maestros en Ciencias y Doctores(as)** que me dieron las bases para comprender y formarme como Ingeniero Agrónomo en Horticultura, los cuales depositaron en mí, responsabilidad, dedicación y amor a su trabajo, pero sobre todo muchas gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mis **Compañeros de Generación**, gracias por su amistad a lo largo de esta etapa en mi vida, por los momentos divertidos y por permitirme ser parte de sus vidas durante los estudios, de convivir dentro y fuera del salón de clases.

A mis amigos, **Orlando, Carla, Joel, Oscar y Verence**, gracias por darme la oportunidad de conocerlos, por su amistad, por los momentos que pasamos juntos dentro y fuera del salón, y por su apoyo incondicional que me brindaron durante todo este tiempo y durante la realización de este proyecto.

A mi amigo **Carlos (†)**, que siempre lo llevo en mi memoria y corazón, gracias por brindarme tu amistad y enseñarme a ver la vida de una forma positiva.

## DEDICATORIAS

A **Dios** por haberme permitido llegar a este momento de mi vida y por ayudarme a concluirlo de la mejor manera posible.

A los dos pilares más importantes de mi vida, mi padre **José Antonio Ovalle Gómez** y a mi madre **Pacita Gómez Ibarra**, por sus sabios consejos, esfuerzo, dedicación, amistad, cariño, amor y apoyo incondicional que me permitió culminar este proyecto en mi vida profesional. Este presente es también de ustedes, ya que sin su motivación y empeño esto no hubiese sido posible, por ello me permito darles las gracias de todo corazón.

A mi abuelita **Marina Gómez Báez**, por ser imagen de ternura, dulzura y por siempre estar mostrando su amor y apoyo en mis proyectos de vida.

A mi abuelito **Antonio Ovalle Sánchez (†)**, que a pesar de que ya no esté con nosotros siempre lo llevo en el corazón, le agradezco infinitamente por sus sabios consejos, amor y por los mejores años de su vida que me dedico, apoyándome incondicionalmente y emocionalmente... Gracias.

A mis **tíos y tías**, que siempre estuvieron apoyándome, dándome consejos y ánimos para lograr concluir mis estudios.

A mis **primos**, que siempre me apoyaron dándome consejos y ánimos en cada etapa de mis estudios.

A mi esposa **Cintha Guadalupe Medellín Hernández**, que a pesar de los momentos difíciles que vivimos permaneciste firme a mi lado, apoyándome en todo momento y motivándome a lograr mis metas, también por darme el regalo de la vida, a mi hijo **Sebastián Ovalle Medellín**, el cual a cada día con sus sonrisas llena mi vida de alegría, siendo pieza clave en la motivación de cada uno de mis días, GRACIAS por ser parte de mi vida.

## ÍNDICE DE TEXTO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE TEXTO .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE) .....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo .....</b>	<b>2</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>Aspectos Generales del Cultivo de Ajo .....</b>	<b>3</b>
Origen e historia .....	3
Clasificación Taxonómica .....	3
Importancia del cultivo de ajo .....	4
Usos del Ajo .....	5
Uso en la protección de cultivos.....	6
Descripción biológica.....	6
Raíz.....	6
Bulbo .....	7
Tallo .....	7
Pseudotallo.....	7
Hojas .....	7
Variedades .....	7
Grupo I (Ajos Violetas o Asiáticos).....	8
Grupo II (Ajos Rosados).....	8
Grupo III (Ajos Blancos) .....	8
Grupo IV (Ajos Colorados, Rojos y Morados).....	9

Aspectos climáticos y edafológicos .....	9
Temperatura.....	9
Fotoperíodo.....	10
Suelo .....	10
Época de Siembra .....	10
Obtención de semilla .....	10
Selección de semilla.....	11
Manejo hídrico en el cultivo de ajo .....	12
Requerimientos nutricionales del cultivo de ajo.....	13
<b>Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (BPCV).....</b>	<b>15</b>
Definición y características .....	15
Importancia de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal .....	15
Mecanismos promotores del crecimiento vegetal.....	16
Mecanismos de promoción directa.....	16
Mecanismos de promoción indirecta .....	16
Asociaciones benéficas planta-microorganismo.....	17
Género <i>Bacillus</i> .....	18
Características del género <i>Bacillus</i> .....	19
<i>Bacillus subtilis</i> .....	19
Definición y Características .....	19
<i>Paenibacillus polymyxa</i> .....	20
Definición y Características.....	20
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....	21
Definición y Características .....	21
Productos a base de Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal .....	22
Aplicación de bacterias del género <i>Bacillus</i> en los cultivos .....	23
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>Descripción del Sitio Experimental .....</b>	<b>24</b>
Ubicación y localización del sitio experimental .....	24
Superficie .....	24

Clima.....	24
Suelo.....	24
Material Vegetal.....	25
<b>Manejo de la parcela experimental .....</b>	<b>25</b>
Preparación del terreno .....	25
Preparación de la semilla .....	26
Siembra y fechas de siembra .....	27
Escardas.....	27
Riego.....	27
Fertilización .....	27
Fertilización foliar .....	29
Control de malezas.....	29
Control de plagas .....	29
Cosecha.....	30
<b>Descripción de los Productos Utilizados .....</b>	<b>30</b>
<i>Bacillus</i> AN16.....	30
Serenade Max® .....	31
Baleo.....	32
<b>Tratamientos .....</b>	<b>32</b>
Descripción de los tratamientos .....	32
Distribución de los tratamientos .....	33
Aplicación de los tratamientos .....	33
<b>Variables evaluadas .....</b>	<b>34</b>
Toma y medición de datos.....	34
Análisis estadístico.....	35
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
Número de plantas .....	36
Rendimiento .....	37
Diámetro del bulbo.....	38
Peso seco del bulbo .....	39

Peso completo de la planta .....	40
Diámetro del tallo.....	41
Longitud del tallo .....	42
Peso fresco de la raíz .....	43
Longitud de la raíz.....	43
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>45</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>46</b>
<b>APÉNCICE .....</b>	<b>58</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Principales países productores de ajo en el mundo.	4
<b>Cuadro 2.</b> Principales estados productores de ajo en México.	5
<b>Cuadro 3.</b> Aplicación de N-P-K-Ca en porcentaje, en base a la absorción de nutrientes por el ajo durante su ciclo de cultivo.	14
<b>Cuadro 4.</b> Aplicación de nutrientes (kg·ha <sup>-1</sup> ).	28
<b>Cuadro 5.</b> Componentes del producto <i>Bacillus</i> AN16.	31
<b>Cuadro 6.</b> Componente del producto Serenade Max <sup>®</sup> .	31
<b>Cuadro 7.</b> Componente del producto Baleo.	32
<b>Cuadro 8.</b> Arreglo de los tratamientos.	32
<b>Cuadro 9.</b> Fecha de aplicación de los tratamientos.	34
<b>Cuadro 10.</b> Descripción de las variables.	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ajos Prosur.	25
<b>Figura 2.</b> Criba seleccionadora de dientes de ajo.	26
<b>Figura 3.</b> Distribución y orientación de los tratamientos.	33
<b>Figura 4.</b> Número de plantas.	36
<b>Figura 5.</b> Rendimiento del cultivo del ajo.	37
<b>Figura 6.</b> Diámetro del bulbo.	38
<b>Figura 7.</b> Peso seco del bulbo de ajo.	39
<b>Figura 8.</b> Peso completo de la planta de ajo.	40
<b>Figura 9.</b> Diámetro de tallo de los ajos.	41
<b>Figura 10.</b> Longitud del tallo de ajo.	42
<b>Figura 11.</b> Peso fresco de la raíz de ajo.	43
<b>Figura 12.</b> Longitud de la raíz de ajo.	44

## ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE)

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de bulbos de ajo, norma NMX-FF-018-SCFI-2006.	58
<b>Tabla 2.</b> Concentración de datos para la variable número de plantas por m <sup>2</sup> .	58
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza del número de plantas por m <sup>2</sup> .	58
<b>Tabla 4.</b> Medias y agrupación de medias del número de plantas por m <sup>2</sup> .	59
<b>Tabla 5.</b> Concentración de datos para la variable rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> ).	59
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza para rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> ).	59
<b>Tabla 7.</b> Medias y agrupación de medias de rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> ).	59
<b>Tabla 8.</b> Concentración de datos para peso completo de las plantas de ajo (g).	60
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza de peso completo de las plantas de ajo (g).	60
<b>Tabla 10.</b> Medias y agrupación de medias de peso completo de las plantas de ajo (g).	61
<b>Tabla 11.</b> Concentración de datos para diámetro de tallo (mm).	61
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza del diámetro del tallo (mm).	61
<b>Tabla 13.</b> Medias y agrupación de medias del diámetro de tallo (mm).	62
<b>Tabla 14.</b> Concentración de datos para diámetro de bulbo (mm).	62
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza del diámetro de bulbo (mm).	62
<b>Tabla 16.</b> Medias y agrupación de medias del diámetro de bulbo (mm).	63
<b>Tabla 17.</b> Concentración de datos para longitud de raíz (cm).	63
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza de la longitud de raíz (cm).	64
<b>Tabla 19.</b> Medias y agrupación de medias de la longitud de raíz (cm).	64
<b>Tabla 20.</b> Concentración de datos para longitud del tallo (cm).	64
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza de la longitud del tallo (cm).	64
<b>Tabla 22.</b> Medias y agrupación de medias de la longitud del tallo (cm).	65
<b>Tabla 23.</b> Concentración de datos para peso fresco de la raíz de ajo (g).	65
<b>Tabla 24.</b> Análisis de varianza del peso fresco de la raíz de ajo (g).	65
<b>Tabla 25.</b> Medias y agrupación de medias del peso fresco de la raíz de ajo (g).	65
<b>Tabla 26.</b> Concentración de datos para peso seco del bulbo de ajo (g).	66
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza del peso seco del bulbo de ajo (g).	66
<b>Tabla 28.</b> Medias y agrupación de medias del peso seco del bulbo de ajo (g).	66

## RESUMEN

El ajo es un cultivo de gran importancia, tanto a nivel nacional como mundial por la amplia gama de sectores en que se emplea el bulbo de esta hortaliza, cuyos costos de producción son elevados por la mano de obra y la cantidad de agroquímicos que se emplean. Resulta necesario buscar alternativas de producción amigables con el medio ambiente, que permitan mantener la producción y mejoren la calidad del bulbo, como el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en la producción de ajo de productos a base de bacterias del género *Bacillus*, tales como, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* y *Paenibacillus polymyxa*, enfocándose más en la parte de interés comercial. Esta investigación se realizó en el ciclo septiembre 2015 – mayo 2016, en Saltillo, Coahuila en el campo experimental de la UAAAN. Para el experimento se utilizó semilla de ajo tipo jaspeado. Los tratamientos utilizados para esta investigación fueron: Serenade Max®, *Bacillus* AN16, Baleo y un testigo, durante el experimento se realizaron 5 aplicaciones a dosis de  $9.75 \text{ ml}\cdot\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua. Los datos obtenidos del experimento fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA), con la prueba Tukey al 95% de confianza ( $p\leq 0.05$ ) mediante el paquete estadístico SAS ver 4.0 bajo un diseño de bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones cada uno, teniendo un total de 16 unidades experimentales de  $49.7 \text{ m}^2$  cada una. En las variables de interés comercial, tales como diámetro de bulbo, peso de bulbo y rendimiento, se vieron favorecidos con la aplicación del producto *Bacillus* AN16 a dosis de  $9.75 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , donde se produjo un aumento del 12.74% en el diámetro de bulbo en comparación al testigo y un incremento significativo del 22.28% en el peso del bulbo en comparación al testigo.

**Palabras Claves:** *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal.

## INTRODUCCIÓN

En México el cultivo del ajo ha resultado ser de gran importancia dentro del sector socioeconómico por la superficie plantada y por la mano de obra que requiere al ser una hortalizas que se cultiva aun de forma artesanal (Velásquez, *et al.*, 2008). Ocupa el decimocuarto lugar de las hortalizas producidas a nivel mundial, apareciendo México como uno de los principales exportadores, aunque con baja participación (Trejo, 2006; Robles, *et al.*, 2006), dentro de los estados productores, se encuentran Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Sonora, Baja California y Aguascalientes, los cuales concentran el 86.44% de la producción total, con un rendimiento promedio de 10.08 t·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

El ajo es el segundo producto más importante de la familia de las *Alliaceae* por sus características organolépticas y por sus efectos contra la arteriosclerosis y trombosis (Cardona y González, 2006), además de que los minerales y vitaminas que contiene son necesarias para el adecuado funcionamiento del cuerpo humano (Barak, *et al.*, 2007).

La eficiencia en el manejo del cultivo constituye un factor de gran importancia que compromete la calidad del producto, entre los factores que llegan a alterar la calidad del bulbo, se puede mencionar la calidad de la semilla a emplear en siembra, la oportunidad de plantación, riego, fertilización y manejo sanitario (Burba, 2006), como también el bajo potencial de rendimiento se asocia con ataques de enfermedades e inadecuado manejo de la nutrición y agua (Castellanos, *et al.*, 2006).

Los promotores de crecimiento a base de microorganismos como especies del género *Bacillus* promueven el crecimiento vegetal de forma directa e indirecta, la forma directa se observa en bacterias rizosféricas que tienen la capacidad de fijar biológicamente al nitrógeno, la solubilización de minerales como en el caso del fósforo y en algunas otras llegan a producir hormonas reguladoras del crecimiento vegetativo, mientras que la forma indirecta es mediante la producción de sustancias que actúan como

antagonistas de patógenos y en otros casos inducen la resistencia en las plantas (Choudhary y Bhavdish, 2009).

En este trabajo se evaluaron comparativamente promotores de crecimiento vegetal a base de bacterias del género *Bacillus*, que actúa como promotor de crecimiento (Adesemoye, *et al.*, 2008) y antagonista (Cazorla, *et al.*, 2007) en el cultivo de ajo.

### **Objetivo**

Determinar el comportamiento del ajo (*Allium sativum* L.) en crecimiento, desarrollo y producción utilizando bacterias del género *Bacillus* como promotor de crecimiento vegetal.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Aspectos Generales del Cultivo de Ajo

#### Origen e historia

En la Biblia y en el Corán se habla de este bulbo y de otros pertenecientes al género *Allium*, siendo apreciado desde la época de los Sumerios y los Egipcios, considerados por Griegos y Romanos en tratados médicos antiguos y asociándolo como un alimento que da fuerza y vigor al momento de realizar trabajo físico (Block, 2010).

El ajo (*Allium sativum* L.) y su antecesor silvestre *Allium longicuspit* Regel, son especies que pertenecen a la familia de las *Alliaceae*, su orígenes se reportan en regiones de Asia Central (Etoh, 1997; Heredia y Delgadillo, 2000) y fue introducido a América Latina a fines del siglo XIV durante el segundo viaje de Colón al Nuevo Mundo junto con las subsecuentes reintroducciones procedentes de España, Islas Canarias e Italia (Jaramillo, 1994; citado por Heredia y Delgadillo, 2000).

#### Clasificación Taxonómica

En el año de 1754 Carl Linnaeus dio el nombre de *Allium sativum* al ajo (Batchvarov, 1993). En base a Takhtajan (1997), menciona que la clasificación botánica del ajo es la siguiente:

Clase: *Liliopsida*

Subclase: *Liliidae*

Superorden: *Lilianae*

Orden: *Amaryllidales*

Familia: *Alliaceae*

Subfamilia: *Allioideae*

Tribu: *Allieae*

Género: *Allium*

Especie: *A. sativum* L.

### **Importancia del cultivo de ajo**

La importancia de este cultivo radica en la producción de esta hortaliza a nivel mundial (Cuadro 1) y la producción nacional donde el estado de Zacatecas ocupa el primer lugar (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Principales países productores de ajo en el mundo

N°	País	Superficie (ha <sup>-1</sup> )	Producción (t)	Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )
1	China, Continental	785,452	19,984,724	25.44
2	India	231,000	1,252,000	5.42
3	República de Corea	25,062	353,761	14.12
4	Bangladesh	53,000	312,000	5.89
5	Egipto	10,997	263,167	23.93
6	Federación de Rusia	28,400	256,406	9.03
7	Myanmar	28,000	208,900	7.46
8	Ucrania	21,900	191,140	8.73
9	España	20,963	177,420	8.46
10	Estados Unidos de América	9,630	175,450	18.22

Fuente: FAOSTAT 2014.

El ajo es un cultivo que se puede llegar a cultivar prácticamente en todo el mundo y México aparece como uno de los principales países productores, exportadores y consumidores de esta especie (Macías y Maciel, 2015),

dentro de los estados productores en México, se encuentran los estados de Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Sonora, Baja California y Aguascalientes.

**Cuadro 2.** Principales estados productores de ajo en México

N°	Estado	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t.ha-1)
1	Zacatecas	2,326.50	32,662.05	14.04
2	Guanajuato	799.1	8,337.00	10.43
3	Baja California	419.5	4,060.62	9.68
4	Puebla	590.5	3,775.32	6.43
5	Aguascalientes	294	1,754.10	10.26
6	Sonora	242.75	1,750.64	7.21
7	Nuevo León	192	1,247.50	6.67
8	Oaxaca	187.4	1,149.29	6.13
9	San Luis Potosí	127.5	1,091.01	8.56
10	Querétaro	92	735.72	8

Fuente: SIAP 2015.

Se estima que el consumo *per cápita* anual nacional es de aproximadamente 460 gramos, el 82% se consume en fresco y el 18% restante a través de productos derivados de procesos industriales como aceite, polvo, medicamento, extractos, etc. (Macías y Maciel, 2015).

### **Usos del Ajo**

El ajo es el segundo producto más importante de la familia botánica de las *Alliaceae* después de la cebolla por su uso en la alimentación, siendo su



principal uso como saborizante o condimento en la cocina para la preparación de diversos platillos alrededor del mundo.

Los usos del ajo tienen una gran variación, desde los relacionados en la elaboración de alimentos como condimentos insustituible, hasta los relacionados con los remedios ancestrales con un sin número de enfermedades en las que se ha probado y comprobado su eficiencia desde el punto de vista empírico y científico, como antiséptico, como estimulante, en el tratamiento de la presión arterial y otras enfermedades cardiovasculares, como antibiótico, antioxidante y reductor del colesterol (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Uso en la protección de cultivos**

Existe una gran variedad de insecticidas comerciales, cuya efectividad se basa a partir de los extractos de plantas, las cuales contienen diversos ingredientes activos capaces de funcionar como repelentes para algunos insectos, dentro de las plantas comunes que se llegan a utilizar como repelentes se menciona el ajo por su capacidad de funcionar como repelente, bactericida y nematocida (Castro *et al.*, 1996).

Diniz *et al.*, (2006) menciona que la combinación de extracto de ajo con otros extractos favorecen el retraso en la aparición de *Phytophthora infestans*, en tomate producido orgánicamente, al cual se le atribuye su eficiencia en la inhibición en la formación de zoosporas y colonias de hongos.

### **Descripción biológica**

Es una planta herbácea, monocotiledónea, bianual y resistente al frío, cuya altura va desde los 30 cm hasta los 90 cm (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Raíz**

Son raíces fibrosas adventicias que se localizan entre 5 y 45 cm de profundidad llegando a medir en algunos casos hasta 70 y 80 cm de

longitud, las cuales se desarrollan a partir del tallo verdadero de color blanco y con escasas ramificaciones (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Bulbo**

Se encuentra compuesto por varios bulbillos conocidos vulgarmente como dientes, estos se encuentran unidos en su base que se forman en las axilas de las hojas en número de seis o siete en adelante, los bulbillos se encuentran envueltos de manera individual por túnicas interiores llamadas catáfilas, mientras que el bulbo completo es envuelto por túnicas exteriores transparentes membranosas de coloración que va del blanco al rojizo o purpura (Kamenetsky y Rabinowich, 2006).

### **Tallo**

El tallo verdadero tiene forma de plato y es de donde se encuentran unidos los bulbillos (dientes), este mide cerca de 30 milímetros de diámetro y 5 milímetros de altura, de este mismo nacen las hojas y raíces, por lo tanto el tallo verdadero se encuentra subterráneo (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Pseudotallo**

El pseudotallo o falso tallo es corto y erecto y está constituido por las vainas de las hojas (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Hojas**

Son planas y algo acanaladas, característica que lo diferencia de la cebolla que las tiene cilíndricas y huecas en su interior, estas hojas miden de uno a tres centímetros de ancho y de 20 a 50 centímetros de largo (Reveles, *et al.*, 2009).

### **Variedades**

En el cultivo de ajo existen variedades que producen bulbos chicos, en comparación a otras variedades de ajo jaspeado que producen bulbos de mayor tamaño, al momento de seleccionar bulbos para semilla hay que

tomar en cuenta las características propias de cada variedad. A continuación se enlistan los diferentes grupos de ajo de acuerdo con Reveles *et al.*, (2009):

### **Grupo I (Ajos Violetas o Asiáticos)**

La característica de estas variedades es que son de regiones tropicales o sub tropicales. Las plantas son generalmente semi erectas con hojas anchas de color verde claro. Presentan dormancia reducida y son de ciclo corto que va de los 155 días a los 165 días, con bajos requerimientos de frío y escasa necesidad de fotoperíodo largo. Los bulbos son medianos, con pocos dientes de gran tamaño de 16.8 a 32.6 dientes por bulbo, dependiendo la variedad, hojas envolventes muy gruesas de color pardo violáceo o vinoso.

### **Grupo II (Ajos Rosados)**

Las plantas de este grupo son generalmente erectas con hojas de ancho intermedio y de color verde intenso. Presentan periodo de dormancia corto y ciclo medio, con moderada necesidad de fotoperíodo largo. Los bulbos son de medianos a grandes y producen un gran número de dientes irregulares de color rosado claro a violáceo.

### **Grupo III (Ajos Blancos)**

Las plantas de este grupo son decumbentes en estado juvenil y semi erectas en estado adulto. Sus hojas son anchas y de color verde cenizo. Los clones de este grupo presentan dormancia media y ciclo medio – largo que va hasta 190 días, requerimientos de frío medianos a altos y fotoperíodo largo. Los bulbos son de grandes a muy grandes, generalmente irregulares, con hojas envolventes de color blanco.

## **Grupo IV (Ajos Colorados, Rojos y Morados)**

Las plantas de este grupo son generalmente semi erectas en estado adulto, de desarrollo medio con hojas angostas a intermedias. Son de ciclo largo con altos requerimientos de frío y fotoperíodo largo. Los bulbos son medianos a grandes, bien formados, de color externo blanco cuando seco, pero de dientes rojo púrpura con tintes violáceos o morados.

### **Aspectos climáticos y edafológicos**

El ajo es un cultivo de clima templado, sin embargo requiere de rangos específicos para cada etapa de desarrollo, para su primer etapa de desarrollo requiere de un clima fresco a frío y en la etapa de bulbificación hasta cosecha requiere de días calurosos y luminosos, siendo la temperatura el factor decisivo en la formación del bulbo (Giacconi y Escaff, 1999).

### **Temperatura**

En la primera etapa de crecimiento del cultivo requiere de clima fresco a frío 8 -16 °C, tolerando incluso temperaturas de 0 °C, sin embargo necesita más de 4 °C para el inicio de brotación, para que la planta sea inducida a formar dientes en el nuevo bulbo requiere de temperaturas bajas, el periodo de bulbificación se ve favorecido por temperaturas medias diarias de 18 – 20 °C.

El atraso en la época de plantación, dará como consecuencia que el cultivo acumule menor cantidad de horas frío determinando una bulbificación prematura, cesando el crecimiento aéreo y ocasionando una disminución en los rendimientos (Burba, 1992), de igual manera las siembras tempranas provocan un periodo vegetativo más prolongado siendo el resultado de una mejor producción, ya que hay más producto elaborado por el follaje para la obtención del bulbo (Bravo y Duimovic, 1980).

## **Fotoperíodo**

El ajo necesita temperaturas frescas menores a los 15 °C y fotoperíodos cortos (menos de 10 horas) para el desarrollo vegetativo y para la formación de bulbo deben de haber temperaturas ambientales mayores a 20 °C y días largos (más de 12 horas) (Tompson y Kelly, 1959; Jones y Mann, 1963: citados por Valadez, 1994).

## **Suelo**

Crece mejor en suelos arenosos, francos y arcillosos, con pH de 5.6 – 6.8. El suelo debe ser fértil, rico en materia orgánica y con buen drenaje para evitar encharcamientos (Maghirang y Miranda, 2001), con respecto a la salinidad se clasifica como moderadamente tolerante, con valores de 4 a 5 mmhos (2500 a 3200 ppm) (Valadez, 1994).

## **Época de Siembra**

Macías y Maciel (2015) mencionan que la mejor época de siembra para los ajos tipo perlas y blancos es comprendida entre el 1° y el 20 de octubre, para los ajos de bulbo tipo jaspeado se recomienda establecerlos desde el 20 de septiembre hasta el 20 de octubre. Es importante considerar que el retraso en la fecha de siembra afecta directamente en su desarrollo y crecimiento, reduciendo considerablemente tanto rendimiento como calidad de los bulbos.

## **Obtención de semilla**

Al momento de empezar a comercializar los ajos es común que los productores seleccionen los bulbos más grandes y de mayor calidad para la venta, dejando para semilla aquellos cuyo tamaño es por debajo del promedio cosechado, esto se debe a que estos últimos tienen un valor comercial menor, ocasionado que la semilla empleada para la siembra del siguiente ciclo tenga menor potencial productivo, provocando una

disminución progresiva del rendimiento (Macías *et al.*, 2009), a este manejo de la semilla se le llama selección negativa (Burba *et al.*, 2005).

La falta de programas para producción de semillas ha ocasionado que los materiales de siembra utilizados provengan de áreas diversas, sin el previo conocimiento que la semilla haya sido producida en parcelas bajo excelentes condiciones fitosanitarias, provocando la diseminación de plagas y enfermedades, siendo una de las enfermedades más evidentes la dispersión del hongo *Sclerotium cepivorum* Berk que causa la enfermedad conocida como pudrición blanca (Velásquez *et al.*, 2002).

Lo ideal es que cada productor de ajo produjera su propia semilla evitando la disminución progresiva del rendimiento, para ello será necesario que destine una parcela o parte de ella exclusivamente para la producción de la semilla, tomando en cuenta que esa parcela deberá tener la mejor ubicación, mejor condición del terreno, darle un buen manejo, utilizar la mejor semilla disponible y asegurarnos que el campo o la parcela a utilizar no esté contaminada de nematodos o enfermedades, para ello se deberá mandar a analizar muestras de suelo a laboratorios de Fitopatología para determinar la presencia de hongos o nematodos (Velásquez y Mediana, 2007).

### **Selección de semilla**

El ajo es una especie que se reproduce vegetativamente, por lo cual se debe de tener especial cuidado a la hora de seleccionar los bulbos de los cuales vamos a obtener los dientes para utilizarlos en el siguiente ciclo como semilla, ya que el tamaño de estos influye directamente sobre el rendimiento y calidad de la cosecha, por lo cual Reveles *et al.*, (2009), menciona que al momento de cosechar, los bulbos a elegir deberán contar con las siguientes características: bulbos que tengan la mejor forma, que sean sanos, de buen tamaño, firmeza, permanencia de cátafilas y color para el caso de los ajos morados o jaspeados, ya que de elegir los bulbos

pequeños, deformes o que hayan presentado alguna fisiopatía, como en el caso de los ajos escobeteados, se llegara a notar una reducción notable en el rendimiento.

### **Manejo hídrico en el cultivo de ajo**

Para garantizar un crecimiento satisfactorio y una buena producción en el cultivo de ajo común, se requiere aproximadamente entre 400 y 600 mm durante su ciclo vegetativo, siendo conveniente mantener el suelo con buena humedad evitando los excesos para no ocasionar pudriciones en el bulbo (Burba, 1992).

Para un manejo adecuado de riego en el cultivo de ajo es de vital importancia conocer el suelo con el que se está trabajando, no es lo mismo un suelo arenoso que un suelo arcilloso, ya que los tiempos y frecuencias de riego van a ser muy diferentes. Un suelo arcilloso tiene mayor capacidad de retención de agua, al contrario de los suelos arenosos que tienen menor capacidad de retención de agua y la misma se infiltra con gran velocidad, perdiéndose en la profundidad, siendo no aprovechada por la planta, debido a esto los riegos deben ser cortos pero frecuentes.

Debido a que es una planta de inviernos, no soporta muy altas temperaturas como las de primavera, teniendo en cuenta que el momento de cosecha se da en esta estación del año (para algunas variedades cultivadas en México), la planta demanda gran cantidad de agua, por lo tanto el agua que se le suministre, la utilizara para hacerla circular, enfriándola “como el radiador de un motor de combustión”, de no suministrarle el agua necesaria, la planta se amarillea y se entrega prematuramente, como consecuencia tendremos perdidas en el rendimiento.

Al utilizar riego por goteo en el cultivo de ajo, será necesario contar con datos de una estación meteorológica cerca de donde se establezca el cultivo de ajo, esto con el fin de reunir información sobre la evapotranspiración potencial o  $ET_0$ , o en su defecto disponer de un tanque evaporación "Tipo A", con el que diariamente se puede determinar la evaporación del tanque y conociendo el coeficiente del tanque  $k_p$  se puede calcular la  $ET_0$ . Teniendo el coeficiente del cultivo ( $k_c$ ) se calcula la evapotranspiración del mismo ( $ET_c$ ) mediante la siguiente formula:  $ET_c = EB \times k_p \times k_c$  (Lipinski, 2015).

### **Requerimientos nutricionales del cultivo de ajo**

Los suelos por su naturaleza contienen casi todos los elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, desafortunadamente los elementos que tienen los suelos se encuentran en cantidades insuficientes para obtener los rendimientos deseados, por lo cual el productor se ve en la necesidad de adicionar nutrientes a través de la aplicación de fertilizantes, con el fin de obtener cosechas de calidad y cantidad, haciendo más rentable el sistema de producción (Reveles *et al.*, 2009).

Lipinski (2015) menciona que para elaborar un plan de fertilización es importante conocer la relación entre las curvas de crecimiento y absorción de nutrientes en función de la edad del cultivo. El ajo es muy exigentes en nitrógeno (N) y potasio (K).

Los ajos de bulbo tipo jaspeado muestran una sensibilidad a la concentración de nitrógeno, al cual se le asocia con un vigor excesivo de la planta, afectando directamente la diferenciación del bulbo, favoreciendo el apareamiento de la fisiopatía llamada "escobeteado", por lo cual para este tipo de ajo se sugiere aplicar bajas dosis de nitrógeno, considerando un tratamiento de fertilización



aproximado de 100(N) - 150(P) - 150(K) - 50(Ca), en base al análisis de suelo y fertilidad del mismo (Macías y Maciel, 2015).

En el Cuadro 3. se muestra el porcentaje (%) de aplicación de N-P-K-Ca, de acuerdo a la absorción de estos nutrientes por el ajo durante su ciclo de cultivo, con el cual se puede llegar a desarrollar un programa de fertilización (Reveles *et al.*, 2009).

Reveles *et al.*, (2009) menciona que la aplicación al suelo de una fertilización base da buenos resultados cuando se incluye el 20% del total de N - K - Ca y del 50% para el P, de acuerdo a la formula recomendada.

**Cuadro 3.** Aplicación de N-P-K-Ca en porcentaje, en base a la absorción de nutrientes por el ajo durante su ciclo de cultivo

Decena	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)
1	0.674	10	0.411	0.3
2	0.823	10	0.505	0.35
3	1.011	10	0.624	0.5
4	1.249	10	0.776	0.6
5	1.553	10	0.974	0.9
6	1.945		1.233	1.3
7	2.454		1.578	1.9
8	3.116		2.041	2.5
9	3.98		2.669	3.6
10	5.1		3.529	4.5
11	6.529		4.714	5.7
12	8.289		6.335	7.5
13	10.301		8.501	9.6
14	12.267		11.208	13.2
15	13.526		14.092	15.3
16	13.069		15.988	12.2
17	10.026		14.803	10.3
18	4.76		10.018	9.75
Total	100%		100%	100%

## **Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (BPCV)**

### **Definición y características**

Kloepper *et al.*, (1980) propusieron por primera vez el uso del término rhizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR) por sus siglas en inglés para nombrar las bacterias que habitan en la rizósfera y que presentan la propiedad de estimular el crecimiento y la salud vegetal. En la producción agrícola sustentable se requiere asegurar el crecimiento sano de las plantas en conjunto con un rendimiento rentable. El uso de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, permiten mejorar o reducir las diversas formas de fertilización química del suelo, e incluso en pesticidas químicos. Existe una alternativa que considera al uso de rizomicroorganismos, aquellos que asociados a las raíces de las plantas: mejoran, estimulan y facilitan, el sano desarrollo de la planta a dosis inferiores de fertilizante nitrogenado, fosforado u otros necesarios para un rendimiento rentable (Bashan, 1998). Las bacterias asociadas con la rizósfera de las plantas tienen la capacidad de generar varios mecanismos, con los cuales afectan positivamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ahmad *et al.*, 2006). Las bacterias promotoras de crecimiento en las plantas, son un grupo muy diverso de microorganismos, dentro de los géneros más conocidos y utilizados en la agricultura son: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, y *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Azobater*, *Bacillus*, etc (Sánchez, 2005).

### **Importancia de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal**

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal desempeñan un papel muy importante en cuanto a la toma de nutrientes, la tolerancia a estrés ambiental y, en general, el mantenimiento de la salud radicular, favoreciendo así el aumento del rendimiento de los cultivos (Matiru and Dakora, 2004). Sin embargo para que estos microorganismos tengan un resultado positivo, se debe de considerar una serie de características tales

como lo son la edad de la planta y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Antoun y Prévost, 2005).

### **Mecanismos promotores del crecimiento vegetal**

Los efectos en la estimulación del crecimiento vegetal se pueden dividir en mecanismos indirectos y directos o una combinación de ambos (Esquivel *et al.*, 2013). Los mecanismos indirectos son aquellos donde la bacteria sintetiza antibióticos u otros compuestos que tienen un efecto inhibitorio sobre organismos fitopatógenos. Los mecanismos directos son aquellos donde la bacteria puede influir positivamente en el crecimiento de la planta por medio de la síntesis y excreción de sustancias fitoestimuladoras, que pueden incluir diversos tipos de fitohormonas (giberelinas, citocininas y auxinas), compuestos orgánicos volátiles e incluso activando la producción dentro de la planta de compuestos que refuerzan la inmunidad vegetal como ácido jasmónico, ácido salicílico y fitoalexinas (Ahmad *et al.*, 2006).

### **Mecanismos de promoción directa**

Cárdenas (2005) menciona que la promoción directa de crecimiento vegetal se produce cuando:

1. Las BPCV abastecen a las plantas de compuestos que estimulan el crecimiento, siendo los principales fitoreguladores las auxinas y citocininas.
2. Las BPCV facilitan la disponibilidad de nutrientes, como la fijación de nitrógeno y la solubilización de fósforo.
3. Las BPCV estimulan en la planta mecanismos de resistencia localizada.

### **Mecanismos de promoción indirecta**

Ezziyyani *et al.*, (2006); Infante *et al.*, (2009) mencionan que la promoción indirecta del crecimiento se produce cuando las BPCV disminuyen o

previenen las enfermedades o alteraciones producidas por microorganismos fitopatógenos. Los mecanismos responsables de este biocontrol incluyen:

1. Competencia por nutrientes
2. Exclusión de nichos
3. Producción de metabolitos antifúngicos (algunos son antibióticos)

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal intervienen en el control de patógenos mediante la producción de antibióticos, inducción de resistencia, activación de los mecanismos de defensa y producción de sideróforos; compuestos con alta afinidad al  $Fe^{+3}$ , que son elaborados por una gran variedad de microorganismos, fundamentalmente a través de *Pseudomonas*. Estos metabolitos suprimen las enfermedades a través del secuestro de Fe, pasando a  $Fe^{+2}$ , convirtiéndose en una limitante para el crecimiento de patógenos en la rizosfera de los cultivos (Chaves y Wang, 2004; Guedez *et al.*, 2009).

### **Asociaciones benéficas planta-microorganismo**

En la rizosfera existen varias interacciones en las que se incluyen: a) interacción entre la raíz-microorganismo y b) interacción entre microorganismo. Las interacciones que se dan se dividen en 3 categorías: a) perjudiciales, b) neutrales y c) benéficas. Los beneficios en general que podemos tener entre la interacción planta-microorganismo, incluye cuatro diferentes efectos: fitoestimulación, biofertilización, biorremediación y control biológico (Weert y Bloemberg, 2006). Las bacterias promotoras de crecimiento muestran efectos benéficos secundarios que aumentan su utilidad como bioinoculante, por ejemplo las bacterias promotoras de crecimiento vegetal pueden promover el crecimiento y productividad de la planta (efecto principal), pero de igual manera se ha demostrado que desempeña un papel en la disminución de enfermedades (efecto secundario) (Avis *et al.*, 2008).

## **Género *Bacillus***

Entre las bacterias promotoras de crecimiento vegetal se encuentran diversas especies del género *Bacillus* (Santoyo *et al.*, 2012). El género *Bacillus* fue descrito por primera vez por Cohn (1872) y comprende un grupo de especies filogenética y fenotípicamente heterogéneas. Incluye más de 300 especies (Euzéby, 2016). En una etapa temprana de la clasificación de las especies del género *Bacillus* se tienen en cuenta dos características fundamentales: el crecimiento aerobio, la respuesta positiva a la tinción de Gram, la forma bacilar y la formación de endosporas. Esto hace que exista una gran cantidad de especies de este género ocupando una gran variedad de hábitats. Debido a esto, la heterogeneidad en la fisiología, ecología y la genética dificulta la clasificación del género o la generalización sobre este. Este género se ha subdividido en cuatro grupos. El primero pertenece a *Bacillus sensu stricto* en el cual se incluye *Bacillus subtilis* y otras 27 especies (Bhandari *et al.*, 2013). El segundo, también conocido como *sensu lato*, incluye bacilos formadores de esporas redondeadas, en el que se destacan las especies *B. cereus*, *B. thuringiensis* y *B. anthracis* (Okinaka y Keim, 2016) y unidos a estos se encuentran algunos taxos asporógenos como *Caryphanon*, *Exiguobacterium*, *Kurtia* y *Planococcus* debido a que presentan cierta similitud con *Bacillus subtilis*. Por su parte, el grupo 3 está formado por 10 representantes, dentro de los que se encuentra *B. polymyxa* y *B. macerans*, los cuales se han reclasificado en un nuevo género, *Paenibacillus*. El grupo 4, se encuentra formado por especies que han sido reclasificadas en dos nuevos géneros *Aneuribacillus* y *Brevibacillus*. Por otra parte, se ha creado un nuevo género (*Virgibacillus*) en el que se ubicó la especie *B. panthotenicus*. Finalmente, se han descrito nuevas especies del género aisladas de diversos ecosistemas que incluyen a *B. mojavenensis* y *B. vallismortis*, *B. ehimensis* y *B. chitinolyticus*, *B. infernus*, *B. carboniphilus* y *B. horti*.

## **Características del género *Bacillus***

Las bacterias del género *Bacillus* tienen la característica de que producen esporas, las cuales son termoresistentes, capaces de resistir a agentes perjudiciales como la desecación, radiación, los ácidos y desinfectantes químicos. Muchos bacilos producen enzimas hidrolíticas extracelulares que descomponen polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, permitiendo que el organismo emplee estos productos como fuentes de carbono y donadores de electrones, también tienen la capacidad de producir antibióticos, como ejemplos de estos esta la bacitracina, polimixina, tirocidina, gramicidina y circulina (Calvo y Zuñiga, 2010; Tejera *et al.*, 2011; Rojas *et al.*, 2013).

### ***Bacillus subtilis***

Es un microorganismo autóctono del suelo que a diferencia de *Echerichia coli*, prospera en la naturaleza, donde se encuentra ampliamente distribuido en diversos hábitat, los cuales por sus características los ha colonizado eficientemente (Espinoza, 2005).

### **Definición y Características**

*Bacillus subtilis* es una bacteria Gram positiva, produce esporas, que le ayudan a resistir factores físicos perjudiciales tales como la temperatura, desecación, radiación, ácidos y desinfectantes químicos. Estos microorganismos pueden llegar a soportar un pH de 2 a 3, con temperaturas dentro de los límites de 55 a 70 °C (Lisboa, 2003).

*Bacillus subtilis* no es potencialmente patógena, ya que no produce endotoxinas, pero secreta proteínas al medio, de las cuales algunas de ellas con propiedades antifúngicas, como la **subtilina** y otros antibióticos de la familia de las **iturinas**, que son utilizadas industrialmente para la elaboración de insecticidas y fungicidas. La subtilina liberada por *Bacillus subtilis* actúa sobre la pared celular de hongos (Lisboa, 2003).

Bryan (1974) citado por Romo, (1994) las características principales de *Bacillus subtilis* son:

- Forma de bastones rectos o curvos, con extremos redondos.
- Miden de 3  $\mu$  a 4  $\mu$  por 1  $\mu$ .
- Son bacterias gram positiva y no acidorresistentes
- Son mesófilas.
- Producen esporas ovales o cilíndricas, que miden de 0.6  $\mu$  a 1.2  $\mu$ .
- Móviles por ocho o 12 flagelos peritricos.
- La pared de la espora es delgada.

### **Paenibacillus polymyxa**

Anteriormente conocida como *Bacillus polymyxa*, es una bacteria formadora de endosporas no patógenas, que se encuentran en entornos tales como raíces de las plantas en suelo y sedimentos marinos (Timmusk *et al.*, 2005; Ravi *et al.*, 2007).

### **Definición y Características**

En los ecosistemas agrícolas *P. polymyxa* puede promover el crecimiento de las plantas a través de tres mecanismos. El primer mecanismo es la producción de hormonas como citoquininas, auxinas, giberelinas y etileno (Timmusk *et al.*, 1999). Estos compuestos aumentan la expansión de las raíces y el crecimiento de la planta. El segundo mecanismo es la producción de antibióticos y la promoción de la inmunidad de la rizosfera. Heulin *et al.*, (1994) observaron que la actividad antagonista de *P. polymyxa* disminuyó la actividad de hongos patógenos en plantas (*Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* y *Fusarium oxysporum*). El tercer mecanismo es la capacidad de fijación de nitrógeno de la bacteria que puede producir una forma de nitrógeno (amoníaco  $\text{NH}_3$ ) que es utilizable por las plantas a partir de  $\text{N}_2$  atmosférica. Además, la fluctuación del suelo

y la porosidad se mejora debido a los compuestos orgánicos liberados de *P. polymyxa* en el suelo (Timmusk *et al.*, 1999).

Según Zengguo *et al.*, (2007) menciona las siguientes características para *P. polymyxa*:

- Bacteria Gram-positiva
- Flagelos peritricos
- Fijadora de nitrógeno
- Produce hormonas
- Bacteria facultativa (anaeróbica)

*P. polymyxa* también tiene usos potenciales en la biorremediación. Se rodea de un compuesto llamado hexopolisacáridos (o sustancia polimérica extracelular), que es importante para la formación de biopelículas y la adhesión a raíces de las plantas y las partículas del suelo. Este exopolisacáridos se puede utilizar como un compuesto de bajo costo y fácilmente cultivable para eliminar el cadmio ( $Cd^{2+}$ ) a partir de soluciones acuosas (Mokaddem *et al.*, 2009).

### **Bacillus amyloliquefaciens**

*Bacillus amyloliquefaciens* es conocida por sus propiedades catabólicas y la degradación de macromoléculas complejas como las proteínas extracelulares. Este organismo se encuentra en muestras de suelo de la naturaleza.

### **Definición y Características**

*Bacillus amyloliquefaciens* es una bacteria Gram positiva, se encuentra estrechamente relacionada con *B. subtilis*, las dos especies comparten muchos genes homologos y aparecen tan similares que no es posible separar visualmente las dos especies (Priest *et al.*, 1987). Es una especie de bacteria que es fuente de la enzima de restricción BamH1. La Alfa Amilasa de *B. amyloliquefaciens* es a menudo usada en la hidrolisis del



almidón, es también una fuente de subtilina, es una enzima que cataliza la ruptura de las proteínas en forma similar a la Tripsina. Es una bacteria radicular que fue seleccionada por su capacidad de promover el crecimiento radicular y aumentar la resistencia de la planta frente a factores abióticos y bióticos (García, 2008), tiene la capacidad de colonizar rápidamente a la raíz (Qiu *et al.*, 2016) mejorando la tolerancia al estrés salino (Chen *et al.*, 2014).

García (2008) menciona las siguientes características para *B. amyloliquefaciens*:

- Son varillas Gram positiva
- Flagelos peritricos
- Catalasa positiva
- Aerobia
- Forma de vara y móvil

Al igual que otros miembros de la familia *Bacillaceae* forma una fuerte endospora para su utilización cuando las condiciones no son favorables.

*Bacillus amyloliquefaciens* es una bacteria del suelo no patógena. La especie también muestra algunas propiedades antifúngicas que son influenciados por la disponibilidad de nitrógeno del medio ambiente (Caldeira *et al.*, 2007).

### **Productos a base de Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal**

Los productos que únicamente contienen bacterias, es común que se les agrega el prefijo “Bio”, haciendo referencia a lo biológico, como es el caso de los “Biofertilizantes”, a base de la bacteria *Rhizobium*, “Fitoestimulante”, como lo es *Azospirillum*, “Biopesticida”, para control biológico o también “Bioinoculante”, y los “Biofungicidas” como en el caso de *Bacillus*. Todos estos productos tienen la característica de que se pueden utilizar en cultivos anuales, praderas de gramíneas y leguminosas, hortalizas y frutales (Aguirre *et al.*, 2009).

### **Aplicación de bacterias del género *Bacillus* en los cultivos**

La fertilización artificial no es remplazada al 100 % por las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, sin embargo los resultados que se han obtenido son positivos, ya que cuando los suelos contienen niveles intermedios de N, P y K, al utilizar BPCV, mejoran la utilización de estos elementos, logrando a la vez los mismos niveles de productividad con un menor gasto de fertilizantes (Schoebitz, 2006).

Magaña (2015) menciona que en fresa notó que con aplicación de la bacteria *Bacillus subtilis* y a una dosis reducida al 50% de fertilización química, logró obtener un buen desarrollo de la misma planta, lo que contribuye en la producción y manejo sostenible de este cultivo.

En el cultivo de tomate inoculado con microcapsulas que contenían cepas de *Bacillus subtilis*, mostraron tener efecto en la estimulación de crecimiento de la planta, produciendo mayor biomasa y rendimiento del fruto, además de que ejercieron un claro biocontrol, ya que redujeron la incidencia y severidad de la enfermedad, al inhibir la actividad infestiva de *R. solani* y *Fusarium* sp. (Hernández *et al.*, 2010). Mena *et al.*, (2009) menciona que la inoculación de raíces con BPCV influyen en la textura de tomate en los estadios tardíos de maduración del fruto. La firmeza del fruto entero y del pericarpio se incrementó con la inoculación de raíces con BPCV. El mejoramiento de la vida de anaquel pareció favorecerse con la reducción de la actividad de PG, principal enzima asociada a la degradación de la pared celular, causando el ablandamiento en tomate.

En experimentos realizados en plantas de lechuga, Arkhipova *et al.*, (2005) observaron, que después de dos semanas las plantas inoculadas con cepas de *Bacillus* contenían mayor cantidad de citocininas que las plantas sin inocular, en los tejidos de la raíz y brotes, la acumulación de citocininas se asoció a un incremento del 30% en el peso de las plantas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del Sitio Experimental**

#### **Ubicación y localización del sitio experimental**

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la ex - hacienda de Buenavista, municipio de Saltillo, a 7 km, al sur de esta ciudad, sobre la carretera 54 (Saltillo – Zacatecas) en el campo experimental “El Bajío”, en la parcela delimitada por las coordenadas 25°35’47.85” latitud N y 101°03’76.59” de longitud O, a una altitud de 1742 msnm.

#### **Superficie**

La unidad experimental de la UAAAN cuenta con aproximadamente 32 ha<sup>-1</sup> de tierras agrícolas de riego, cuenta con terrenos de temporal y cerril donde se pueden sembrar cultivos de verano e invierno.

De las 32 ha<sup>-1</sup> de terreno agrícola únicamente se utilizaron 795 m<sup>2</sup> para el experimento.

#### **Clima**

La temperatura media anual es de 19.8 °C. Las heladas comienzan en noviembre, siendo las más intensas en el mes de enero llegando a alcanzar los -10 °C. terminan en marzo, en este mes no son muy intensas, ni se presentan frecuentemente y llegan a presentar muy ligeramente heladas en abril.

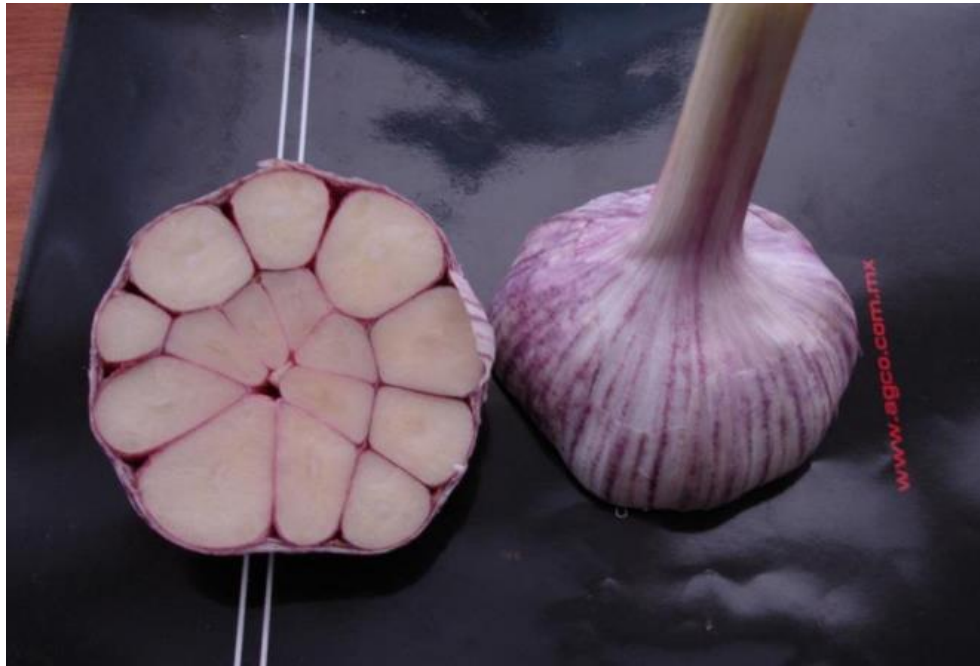
#### **Suelo**

El suelo es de textura migajón y migajón arcilloso, con bajos contenidos de materia orgánica y poseen una capa subyacente de carbonato de calcio.

## **Material Vegetal**

La semilla de ajo utilizada en el experimento es ajo morado, esta variedad de ajo morado es conocida como ajos prosur.

Los ajos prosur son producidos en Monterrey, Nuevo León, México. La forma del bulbo es tipo bola, esta variedad cuenta con certificación por parte de Senacica México y la FDA EE.UU (Alonso, 2014) (Figura 1).



**Figura 1.** Ajos Prosur.

Esta variedad es de ciclo tardío, desde la siembra hasta cosecha tardo 226 días, este dato se obtuvo al finalizar el experimento.

### **Manejo de la parcela experimental**

#### **Preparación del terreno**

El terreno se labró mecánicamente con 15 días de anterioridad, únicamente se le pasó la rastra 2 veces en la misma dirección, un día antes de sembrar se conectó la cintilla al cople-cintilla que estaba unido a la línea principal de riego mediante mangueras, cada cintilla estaba a una distancia de 85 cm.

## **Preparación de la semilla**

La semilla se desgranó manualmente 15 días antes de la siembra, después del desgranado se seleccionaron los dientes que median alrededor de 10 mm a 25 mm, este proceso se realizó con ayuda de una criba que selecciona los dientes de ajo por tamaño (Figura 2), posteriormente después del desgranado de los ajos y cribado de los dientes se colocaron en cajas de plástico ventiladas de 18 kg llenándolas a la mitad para permitirles una buena aireación y colocándolas en un lugar sombreado, esto con el fin de evitar pérdidas por sobrecalentamiento de la semilla, todo este proceso se realizó en el rancho Marina localizado en el municipio de Ojocaliente, Zacatecas, delimitado por las coordenadas 22°52'99.26" latitud N y 102°12'98.85" longitud O a 2,100 msnm, este proceso fue realizado con ayuda del Sr. José Antonio Ovalle Gómez, quien proporcionó parte de la semilla para el experimento, para su traslado del rancho Marina al lugar del experimento (UAAAN, Saltillo, Coahuila) se colocó la semilla en arpillas de 50 kg, para el establecimiento del experimento se utilizaron 200 kg.



**Figura 2.** Criba seleccionadora de dientes de ajo.

### **Siembra y fechas de siembra**

La siembra se estableció sobre una superficie de 795 m<sup>2</sup>, el terreno medía 39 m<sup>-1</sup> de largo con 20.4 m<sup>-1</sup> de ancho, teniendo en total 24 surcos, la siembra se colocó en dirección de norte a sur.

La siembra se realizó de forma manual el día 23 de septiembre del 2015, la siembra fue directamente al suelo, los dientes fueron clavados en el suelo hasta la mitad en posición vertical, o como le conocen en la región de Aguascalientes y Zacatecas “sentados”, a una distancia entre planta y planta de 10 cm y 15 cm entre hileras teniendo únicamente 2 hileras por surco, posteriormente se dio un riego pesado para hidratar la semilla.

### **Escardas**

Durante todo el ciclo de cultivo se realizaron dos cultivadas, la primera cultivada se realizó el día 10 de noviembre del 2015, para formar los surcos, deshierbe y aporque, esto para evitar la deshidratación de los bulbos y la exposición a la radiación solar y la segunda cultivada se realizó el día 04 de marzo del 2016, con el fin de deshierbar y aporcar.

### **Riego**

El riego se realizó con el apoyo de una pila localizada a 80 metros de la parcela experimental con agua extraída por los pozos, para tener mejor distribución, uniformidad y aprovechamiento del riego en el cultivo, se utilizó un sistema de riego por goteo, utilizando 1 cintilla por surco, la cintilla utilizada era de la marca TORO™ del modelo Aqua-Traxx calibre seis mil, la cual tenía los emisores distanciados a cada 30 cm, con un gasto por emisor de 0.26 l/hora, los riegos se efectuaban cada 10 a 15 días, según las condiciones del clima.

### **Fertilización**

En la elaboración del plan de fertilización se consideraron 200 días del ciclo del cultivo, desde emergencia hasta cosecha sin tomar en cuenta las

semanas en que el ajo se iba a dejar en el proceso de secado al aire libre. La nutrición del cultivo fue en base a una fórmula establecida, la cual fue dividida en 4 fases: fase I: fertilización base, fase II: crecimiento vegetativo, fase III: bulbificación, fase IV: maduración del bulbo (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Aplicación de nutrientes (kg·ha<sup>-1</sup>).

Fases	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Fase I Fertilización base	30	100	50	0	10
Fase II Crecimiento Vegetativo	50	10	50	0	10
Fase III Bulbificación	20	10	50	15	10
Fase IV Maduración del bulbo	10	10	50	15	0
TOTAL	110	130	200	30	30

Fertilizantes utilizados en base:

- Sulfamin 45 compactado (21 – 00 – 00 – 24S)
- Sulfato de potasio (00 – 00 – 52 – 18S)
- MAP compactado (11 – 52 – 00)
- K – Mag (00 – 00 – 22 – 18Mg – 22S)

Fertilizantes utilizados en el riego:

- Nitrato de calcio (15 – 00 – 00 – 26Ca)
- Nitrato de potasio (13 – 00 – 44)
- Sulfato de Magnesio (00 – 00 – 00 – 17Mg – 12S)
- Sulfato de potasio (00 – 00 – 52 – 18S)
- MAP soluble (11 – 52 – 00)

- MKP soluble (00 – 52 – 34)
- Cloruro de potasio (00 – 00 – 60)
- Ácido fosfórico (00 – 46 – 00)

### **Fertilización foliar**

Para el caso de la fertilización foliar se realizaron 3 aplicaciones, la primera aplicación se realizó el día 10 de diciembre del 2015 y se utilizó el fertilizante foliar Bayfolan™ a razón de 5 ml·L<sup>-1</sup>, la segunda aplicación se realizó el día 1 de febrero del 2015 y se utilizó el fertilizante foliar NutriGreen™ a dosis de 15 ml·L<sup>-1</sup>, la última aplicación se realizó el día 23 de abril del 2016 y se utilizó el fertilizante foliar Multi Ca, Mo, B, a dosis de 7 ml·L<sup>-1</sup>, en cada aplicación se añadieron 4 ml·20L de agua de adherente ADH™ de Cosmocel.

### **Control de malezas**

En el control de malezas se utilizaron dos métodos, el químico y el manual, para el control químico de las malezas se utilizó el herbicida Goal™ 2 XL (Oxifluorfen 22%) a dosis de 1.5 ml·L<sup>-1</sup> de agua, la aplicación fue hecha con una aspersora fumigadora de mochila de 20 L de la marca Jacto™, la aplicación se realizó el día 17 de octubre del 2015, posteriormente en el mes de enero se realizó un deshierbe a mano, esto con la finalidad de arrancar la maleza con todo y raíz, finalmente para el mes de marzo se realizó el ultimo deshierbe con ayuda del azadón, este último nos ayudó en el control de maleza y en la oxigenación de la raíz.

### **Control de plagas**

La plaga que más predominó en el cultivo del ajo durante todo su ciclo fue el trips (*Thrips tabaci* L.) que se presentó durante los primeros y últimos meses del cultivo, para ello se realizaron dos aplicaciones de insecticidas, la primera aplicación se realizó el día 10 de diciembre del 2015, utilizando Cipermetrina EC 25, a dosis de 1 ml·L<sup>-1</sup> de agua, la segunda aplicación se



realizó el día 4 de marzo del 2016, utilizando el producto NUGOR™ (Dimetoato), a dosis de 1.66 ml·L<sup>-1</sup>, para ambas aplicaciones se utilizó el adherente ADH™ de Cosmocel a dosis de 4 ml·20 L de agua, esto para tener mayor efectividad en la aplicación, de igual manera se le agrego al agua 1ml·20 L de agua de ácido fosfórico con la finalidad de acidificar el agua. Los insecticidas utilizados fueron elegidos cuidadosamente para no llegar a generar resistencia en la plaga.

### **Cosecha**

La cosecha se realizó el día 6 de mayo del 2016, el índice de cosecha fue el siguiente, a) el marchitamiento de la planta: se observó que el 60% de las plantas de ajo ya estaban tornando de un color amarillo, b) tacto al tallo: con ayuda del dedo índice y pulgar se tocó y se presionó el tallo justo por encima del bulbo, si los tallos se sentían aguados o suaves, quería indicar que la savia elaborada ya estaba siendo dirigida al bulbo, de lo contrario el ajo aún no estaba en su punto, para ello se notó que de cada 10 plantas, 6 tenían el tallo suave o aguado. Para cosechar el ajo fue necesaria la utilización del tractor, debido a la superficie establecida, al tractor se le conecto la cultivadora y los chusos se colocaron en medio de las 2 hileras de ajo (justo donde se coloca la cintilla), posteriormente con cuidado de no mochar los ajos a la mitad se enterró la cultivadora a 25 cm de profundidad y de esta manera fue como fueron aflojados los ajos del suelo, posteriormente se tomó la segunda muestra de ajos y se prosiguió al engavillado del ajo restante para su secado al aire libre.

### **Descripción de los Productos Utilizados**

#### **Bacillus AN16**

Es un biofungicida experimental elaborado en el departamento de parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a partir de una combinación de bacterias del género *Bacillus*, antagonistas de patógenos, productoras de compuestos antimicrobianos e inductores de

resistencia a enfermedades, con la ventaja de actuar como promotoras de crecimiento vegetativo, favoreciendo el desarrollo de un sistema radicular fuerte y sano, aumentando el rendimiento del cultivo y calidad de los productos vegetales (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Componentes del producto *Bacillus* AN16.

Componentes	% en Volumen
Complejo mixto de esporas del tipo de <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> y <i>B. polymyxa</i> ( $1 \times 10^9$ UFC/ml)	20%
Materia orgánica y acondicionadores en mezcla	80%
TOTAL	100%

**Serenade Max®**

Es un producto de origen natural a base de *Bacillus subtilis* cepa QST 713, es un fungicida biológico preventivo utilizado para combatir enfermedades y microorganismos que se encuentran presentes en la naturaleza, previniendo el crecimiento de agentes patógenos al combatir con ellos por su espacio vital y por sus nutrientes sobre la superficie de la planta. La bacteria tiene la capacidad de sintetizar sustancias que actúan sobre la permeabilidad de la membrana celular de los hongos, favoreciendo además la resistencia de las plantas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Componente del producto Serenade Max®.

Componentes	% en Peso
Cepa seca del <i>Bacillus subtilis</i> QTS 713, contiene mínimo de $8 \times 10^9$ UFC/g, equivalente a 146 g de i.a./kg	14.60%
Residuos de fermentación como vehículo, dispersante y aglutinante	85.40%
TOTAL	100%

## **Baleo**

Es un biofertilizante que contiene los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas, además tiene la ventaja de que se encuentra adicionado con bacterias nitrificantes, *Bacillus subtilis* y Actinomicetos, las cuales ayudan a promover el crecimiento vegetal, promoviendo el desarrollo de un buen sistema radicular y optimizando el aprovechamiento de los elementos que se encuentran en el suelo (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Componente del producto Baleo.

Componentes	% en volumen
Bacterias nitrificantes $1 \times 10^6$	N/E
<i>Bacillus subtilis</i> $7 \times 10^7$	N/E
Actinomicetos $1 \times 10^4$	N/E
Macroelemento y Microelementos	N/E
TOTAL	N/E

N/E=No Especificado

## **Tratamientos**

### **Descripción de los tratamientos**

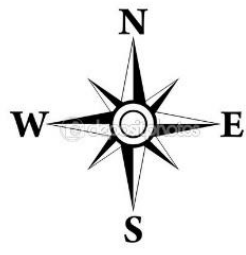
El experimento consto de 4 tratamientos incluido el testigo, los cuales se arreglaron de la siguiente manera para su identificación (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Arreglo de los Tratamientos.

Tratamientos	Producto	Dosis
T1	Testigo	-----
T2	Serenade Max®	9.75 g·L <sup>-1</sup>
T3	<i>Bacillus</i> AN16	9.75 ml·L <sup>-1</sup>
T4	Baleo	9.75 ml·L <sup>-1</sup>

### **Distribución de los tratamientos**

Cada tratamiento contaba con cuatro repeticiones distribuidos aleatoriamente en los 795 m<sup>2</sup>, en total se tenían 16 repeticiones, cada repetición medía 5.1 metros de ancho x 9.75 metros de largo, teniendo una superficie por repetición de 49.7 m<sup>2</sup>, cada repetición contaba con 6 surcos y para su identificación se colocó una banderilla al principio de cada repetición señalándolas de la siguiente manera T1R1, T1R2, T1R3.....TnRn (Figura 3).



T1R1	T3R2	T4R4	T2R3
T4R2	T2R4	T1R3	T3R1
T2R3	T4R1	T3R4	T1R2
T3R4	T1R43	T2R2	T4R4

**Figura 3.** Distribución y orientación de los tratamientos.

### **Aplicación de los tratamientos**

La aplicación fue al “drench”, a 10 cm de altura del suelo, las aplicaciones se hicieron cuando el suelo se encontraba húmedo, para su aplicación se utilizó una mochila fumigadora de 20 L de la marca Jacto™, para cada tratamiento y sus repeticiones se utilizaron 10 L, 2.5 L por repetición, para su preparación con ayuda de una báscula analítica de la marca Ohaus™ se pesó el producto Serenade Max® 97.5 g·10 L de agua, para los productos *Bacillus* AN16 y Baleo se utilizó una jeringa de 50 ml para cada producto midiendo 97.5 ml·10 L de agua, la misma mochila se utilizó para los tres tratamientos, después de aplicar cada tratamiento se procedía a lavarla, realizando tres lavados al tanque, descargado el agua como si se estuviera aplicando algún producto y por último se le quitaba la boquilla y se le daba un lavado con ayuda de un cepillo, este proceso se realizaba con la finalidad

de que no hubiese contaminación de un tratamiento con otro. Las aplicaciones se realizaron en las siguientes fechas (Cuadro 9), teniendo un total de 5 aplicaciones en todo el ciclo del cultivo.

**Cuadro 9.** Fecha de aplicación de los tratamientos.

Numero de aplicación	Fecha de aplicación
1 <sup>a</sup>	02/nov/15
2 <sup>a</sup>	12/dic/15
3 <sup>a</sup>	12/ene/16
4 <sup>a</sup>	13/feb/16
5 <sup>a</sup>	10/mar/16

### **Variables evaluadas**

#### **Toma y medición de datos**

Para evaluar la respuesta del ajo a los tratamientos aplicados se hicieron 2 muestreos, el primer muestreo se realizó el día 15 de abril del 2016, para este muestreo se tomaron 10 plantas de cada repetición, teniendo un total de 160 plantas por los 4 tratamientos con sus repeticiones, las muestras se tomaron de los 2 surcos centrales y las muestras de cada repetición se guardaron en bolsas de papel kraft y posteriormente se prosiguió a realizar las mediciones (Cuadro 10) para tomar la decisión de como tomar la muestra se midió el largo de los surcos de cada repetición que era 9.75 m<sup>-1</sup>, se dividió a la mitad 4.8 m<sup>-1</sup>, y justamente a la mitad se tomaron las plantas de los dos surcos, cinco plantas de cada surco, para extraer las plantas de la tierra con la mayor cantidad de raíz se remojo el suelo 30 minutos antes de realizar la extracción, una vez húmedo el suelo, con ayuda de una pala de punta plana se prosiguió a la extracción de las plantas. El

segundo muestreo se realizó al momento de la cosecha, en este muestreo únicamente se evaluó diámetro, y peso seco del bulbo.

**Cuadro 10.** Descripción de las variables.

Variable	Descripción
No. De plantas (m <sup>2</sup> )	Se mido un m <sup>2</sup> y las plantas que estuvieran dentro se contabilizaron.
Peso completo (g)	Se utilizó una báscula analítica
Diámetro del tallo (mm)	Se realizó la medición con la ayuda de un Vernier digital
Diámetro del bulbo (mm)	Se realizó la medición con la ayuda de un Vernier digital.
Longitud de la raíz (cm)	Se utilizó una regla de 60 cm.
Longitud del tallo (cm)	Se midió con una regla de 60 cm, de la base del tallo hasta la punta de la hoja más larga.
Peso fresco de la raíz (g)	Con ayuda de un bisturí se separó la raíz del bulbo y se pesó en una balanza analítica.
Peso seco del bulbo (g)	Se llevaron los ajos a un invernadero y se engavillaron, tapando los bulbos con su mismo follaje por 10 días, posteriormente con ayuda de un bisturí se separó el bulbo del follaje y de la raíz y se pesó en una báscula analítica.

### **Análisis estadístico**

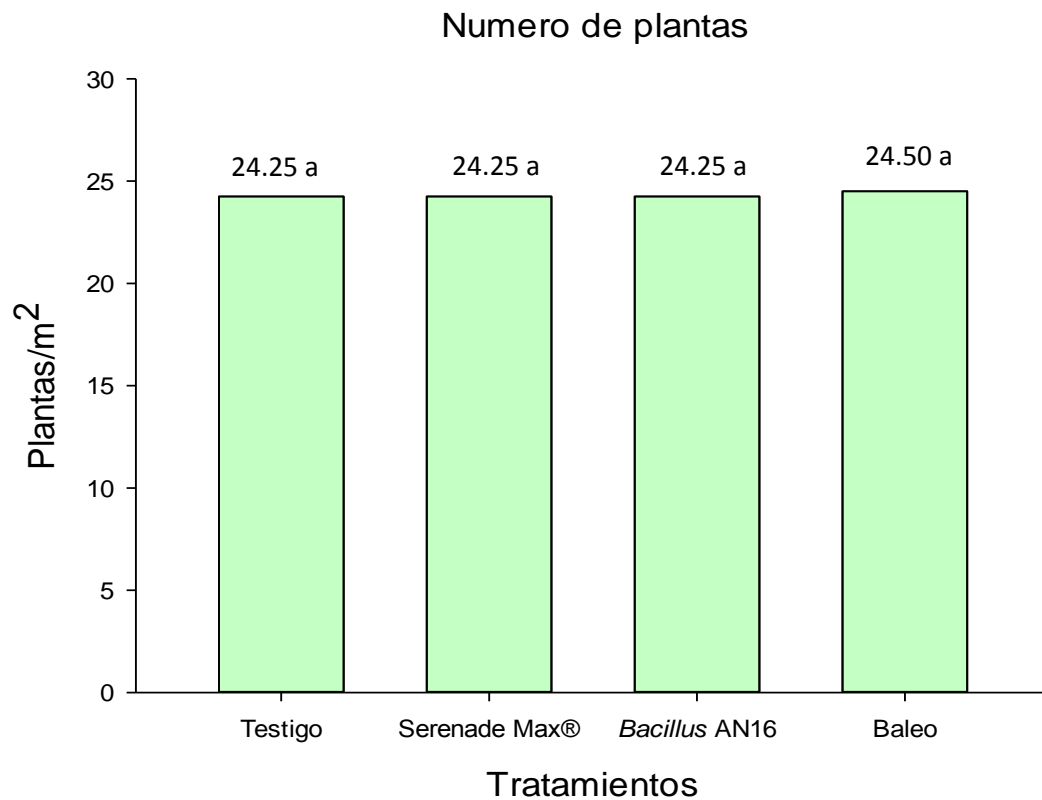
Para analizar cada una de las variables, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) bajo el arreglo de un diseño de bloques completamente al azar, con la prueba Tukey al 95% de confianza y se analizaron mediante el paquete estadístico computacional SAS (Statistical Analysis Software) ver 9.4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Número de plantas

Esta variable se contempló exclusivamente para comprobar que cada experimento contaba con el mismo número de plantas, y de esta manera tener la certeza de que cada tratamiento contaba con las mismas condiciones en cuanto al número de plantas por m<sup>2</sup>.

En la Figura 4. se muestran los valores medios donde no hubo diferencia entre los tratamientos teniendo una media poblacional de  $\mu = 24$  plantas por m<sup>2</sup>, lo que nos da como resultado 235,294 plantas por hectárea, de acuerdo al distanciamiento entre surcos y la distancia entre semillas que se utilizó, de acuerdo con Reveles *et al.*, (2009) menciona que para un arreglo en surcos a 80 cm y 90 cm se alcanzan densidades de 250,000 y 222,222 respectivamente, tomando en cuenta que a mayor distancia entre surcos se tiene menor número de plantas por hectárea.

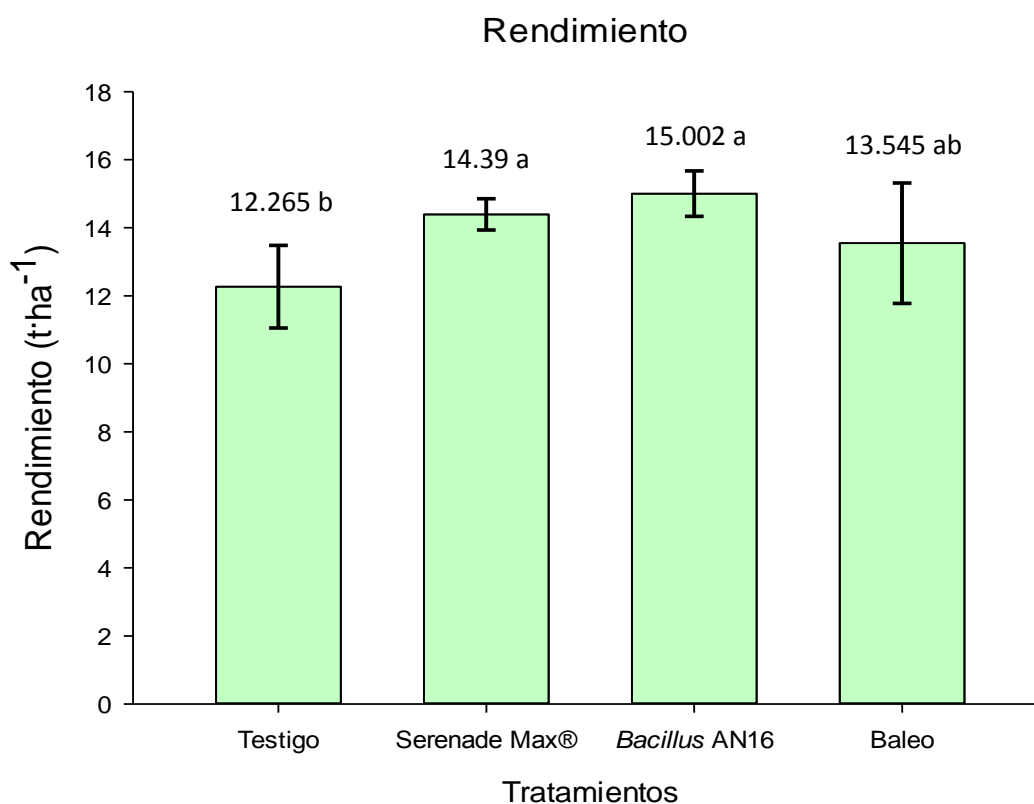


**Figura 4.** Número de plantas.

## Rendimiento

En base a los resultados obtenidos, se puede observar que mediante la aplicación de los productos *Bacillus* AN16 y Serenade Max® a dosis de 5 l y/o kg·ha<sup>-1</sup> se pueden llegar a alcanzar rendimientos de 14.39 t·ha<sup>-1</sup> a 15.002 t·ha<sup>-1</sup>, en comparación al testigo y a la aplicación del producto Baleo se puede observar que son los tratamientos que menos sobresalieron, alcanzando un máximo de 13.54 t·ha<sup>-1</sup> con la aplicación de Baleo a dosis de 5 l·ha<sup>-1</sup> y un mínimo de 12.26 t·ha<sup>-1</sup> con la nula aplicación de productos promotores de crecimiento vegetal a base de bacterias del género *Bacillus* (Figura 5).

Lo antes mencionado concuerda con Guillen *et al.*, (2006) que en su investigación realizada en el cultivo de chile (*Capsicum annum*) menciona que mediante la aplicación de bacterias del género *Bacillus* se incrementa el rendimiento del cultivo de chile.

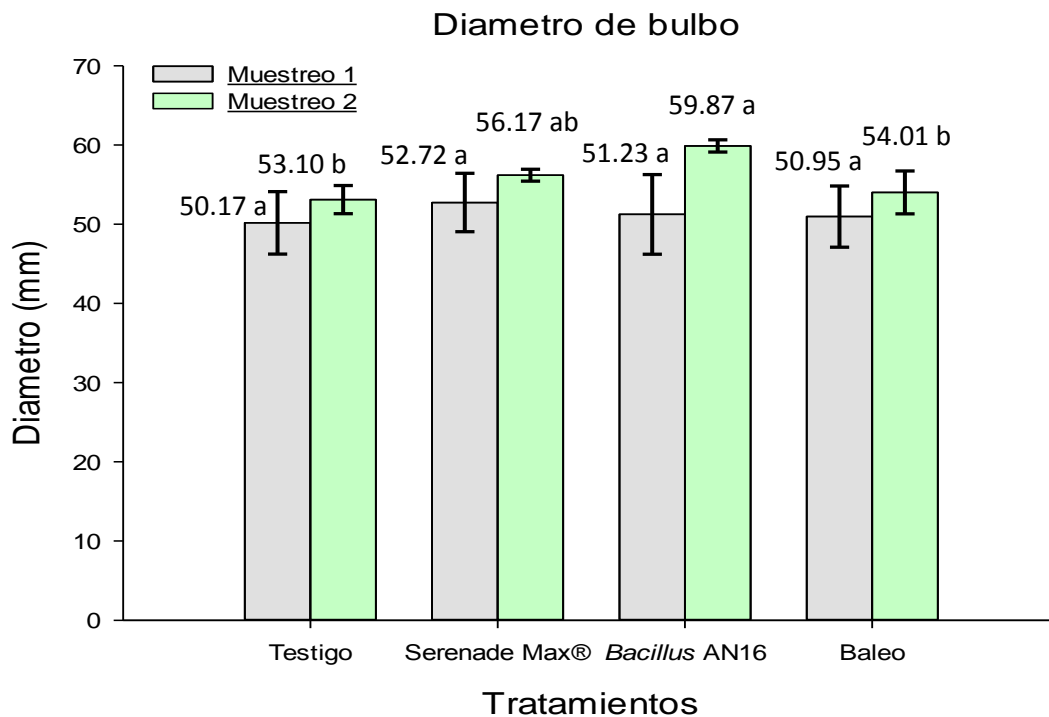


**Figura 5.** Rendimiento del cultivo del ajo.



## Diámetro del bulbo

En el muestreo 2 (Figura 6) se puede observar que existe diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos siendo los productos *Bacillus* AN16 y Serenade Max® a dosis de  $5 \text{ kg} \cdot \text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$  los que obtuvieron los mayores diámetro de bulbos, de 56.175 mm a 59.871 mm, clasificándose como bulbos de calibre 8 a 9 de acuerdo con la norma NMX – FF-018-SCFI-2006 (Tabla 1), la cual se basa en el diámetro ecuatorial para la calibración de los bulbos de ajo expresado en milímetros. El testigo y el producto Baleo a dosis de  $5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$  alcanzan una clasificación de calibre 7, cabe mencionar que los calibres 8 y 9 son los más buscados en el mercado. Los resultados obtenidos difieren de García (2008) donde el no obtuvo diferencia en el diámetro ecuatorial de los bulbos de ajo var. California, a la aplicación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, sin embargo los diámetros que el reporta en su trabajo de investigación, demuestra que en los tratamientos donde aplico BPCV se encuentran por encima del testigo, al igual que en el muestre 1 donde no se encontró diferencia entre tratamiento.

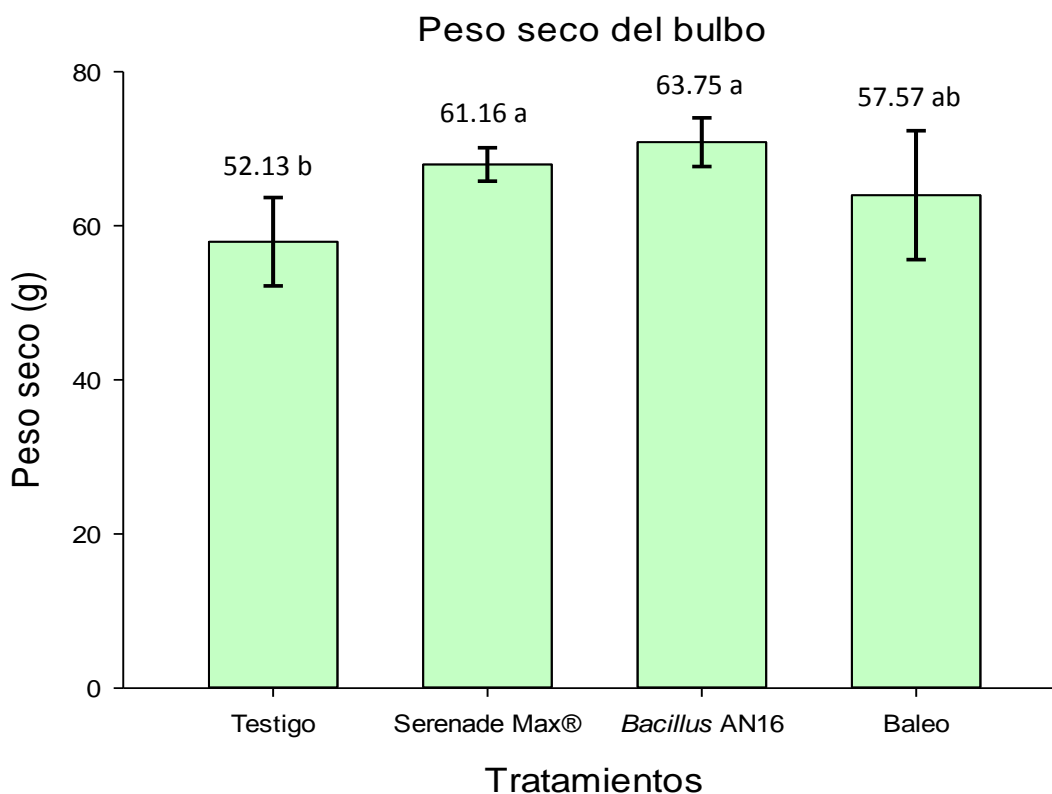


**Figura 6.** Diámetro del bulbo.

### Peso seco del bulbo

En la Figura 7. Se puede observar que existe diferencia entre los tratamientos, siendo *Bacillus* AN16 (5 l·ha<sup>-1</sup>) y Serenade Max<sup>®</sup> (5 kg·ha<sup>-1</sup>) los que presentan mayor peso seco del bulbo con 61.16 g a 63.75, lo que se expresa en mayor cantidad de biomasa seca y rendimiento, a diferencia del testigo que presenta 52.13 g, siendo el más bajo de los tratamientos, mientras que el tratamiento que más se apega al tratamiento *Bacillus* AN16 y Serenade Max<sup>®</sup> es Baleo a dosis de 5 l·ha<sup>-1</sup> con 57.57 gramos en peso seco del bulbo.

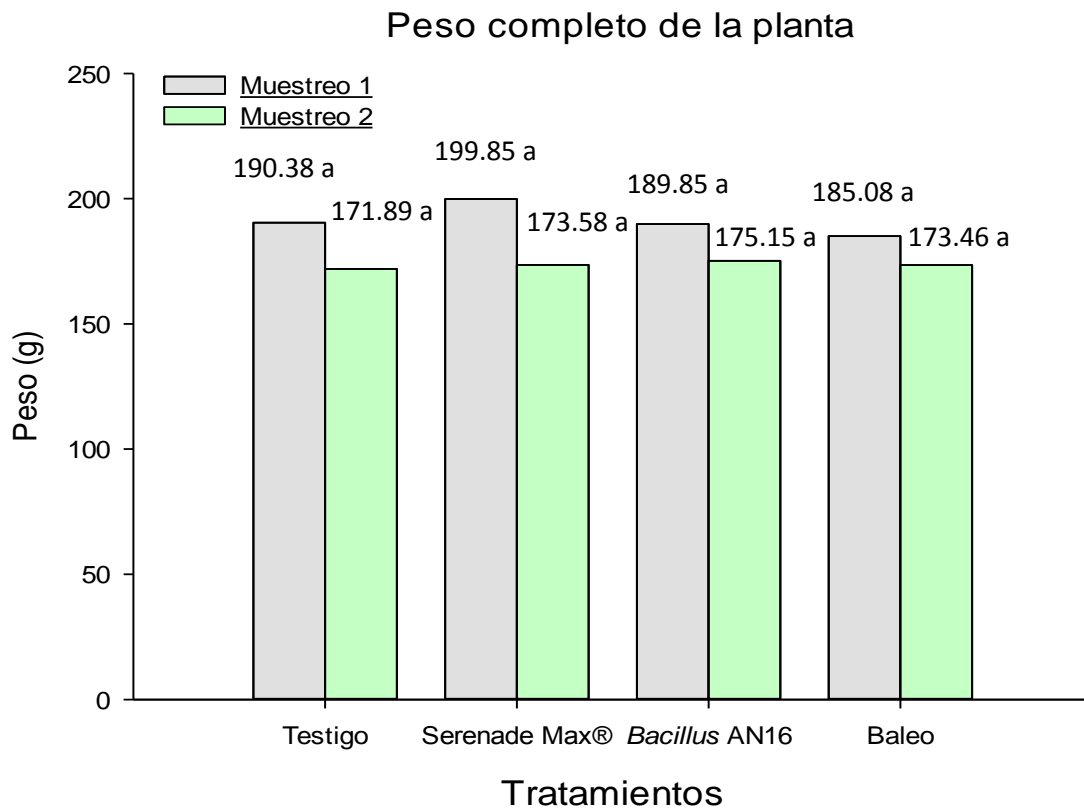
Oseguera (2005), en su trabajo de investigación menciona que el fruto de tomate se ve favorecido a la aplicación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, tales como *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyliquelificans*, el peso que mostraron fue mayor que el resultado obtenido por el testigo.



**Figura 7.** Peso seco del bulbo de ajo.

### Peso completo de la planta

En el muestreo 1 (Figura 8) realizado en la etapa fenológica maduración de bulbo se puede observar que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo cabe mencionar que el producto Serenade Max® a dosis de 5 kg·ha<sup>-1</sup> es el más alto.



**Figura 8.** Peso completo de la planta de ajo.

En el muestreo 2 (Figura 8) realizado al momento de la cosecha, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo cabe mencionar que en el producto *Bacillus AN16* es donde se obtuvieron las plantas más pesadas, se observó que las plantas permanecieron más verdes hasta el momento de cosecha.

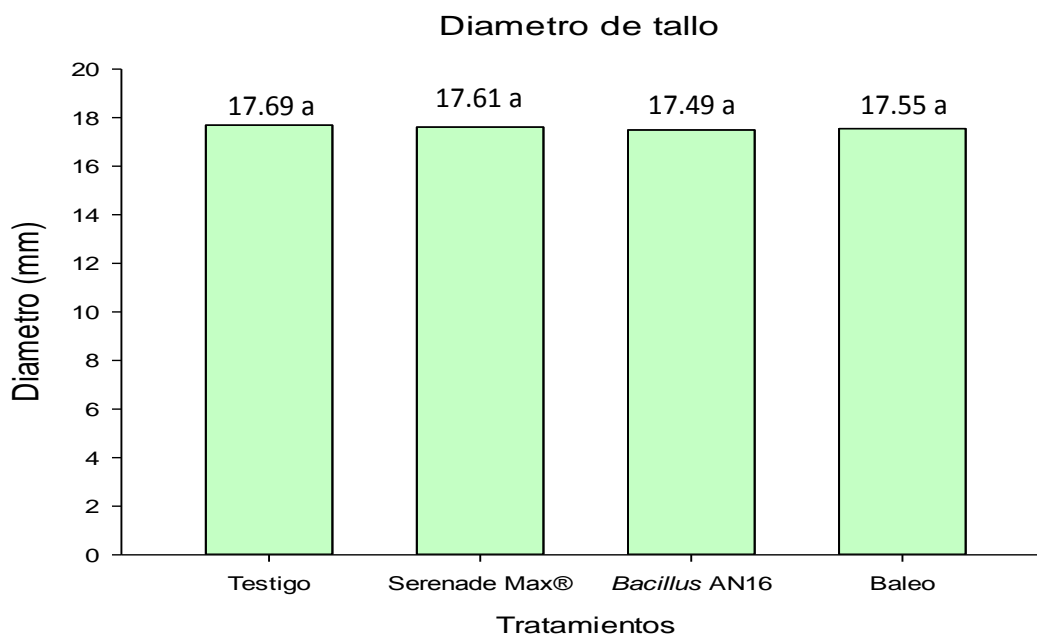
Lo antes mencionado concuerda con Main y Franco (2011) mencionan en su investigación realizada en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) que

no encontraron diferencia significativa en el peso completo de las plantas de papa.

### **Diámetro del tallo**

Los resultados obtenidos para diámetro de tallo nos indican que no existe diferencia entre los tratamientos, de igual manera se puede observar que numéricamente si hay diferencia entre el diámetro de los tallos del testigo, respecto a los productos a base de BPCV, sin embargo en zonas ajeras como lo son Zacatecas y Aguascalientes se considera que no es de vital importancia producir tallos gruesos, debido a que generan mayor follaje y menor diámetro de bulbo (Figura 9).

Torres (2008) menciona en su trabajo de investigación realizado en rosal, que los tratamientos en donde se realizaron aplicaciones de *B. amyloliquefaciens* presentaron menor diámetro de tallo que el presentado en el testigo absoluto, esto concuerda con los resultados obtenidos, observando que donde se aplicaron productos a base de bacterias del género *Bacillus*, se obtuvo menor diámetro de tallo.

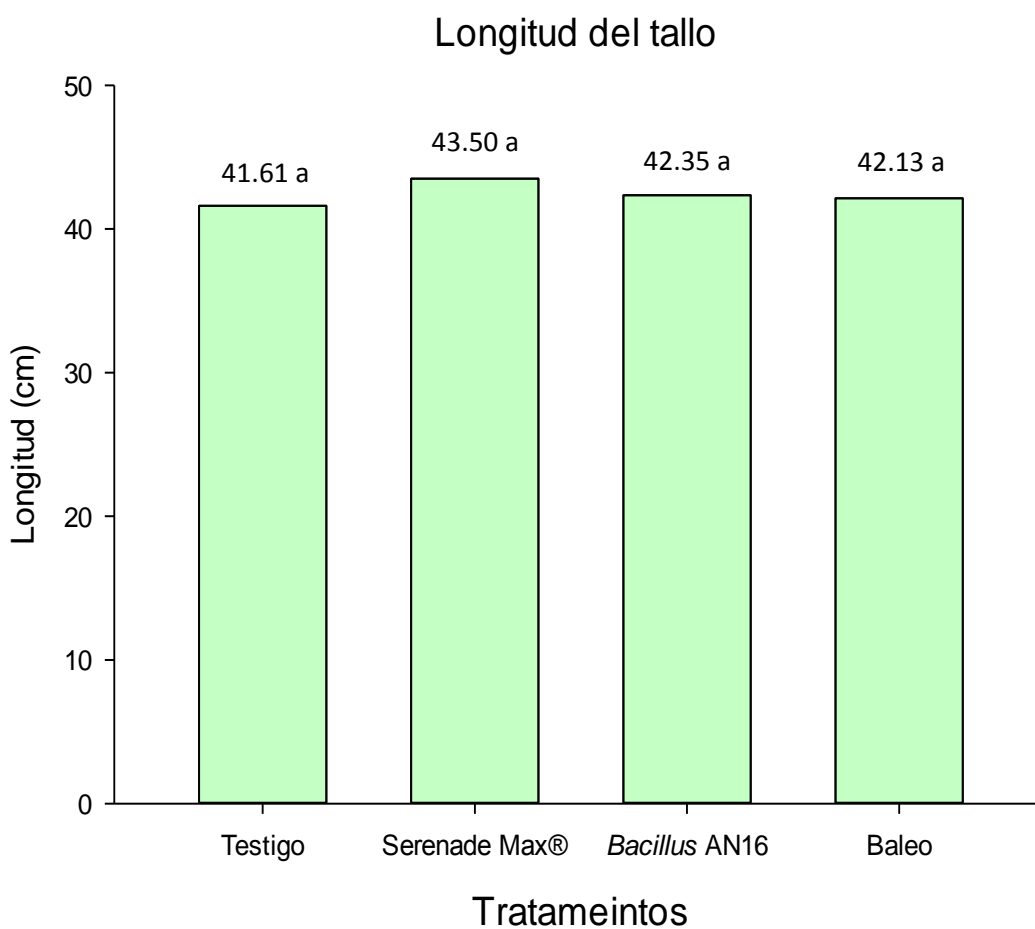


**Figura 9.** Diámetro de tallo de los ajos.

### Longitud del tallo

En los resultados obtenidos en longitud de tallo se puede observar que no existe diferencia entre tratamientos, sin embargo donde se aplicaron los productos a base de bacterias promotoras de crecimientos vegetal del género *Bacillus* se encontró que están por encima del testigo con longitudes que van de 42.138 cm a 43.5 cm (Figura 10).

Los resultados obtenidos difieren de García, *et al.*, (2015), mencionan en su experimento realizado en maíz, que mediante la inoculación de bacterias del género *Bacillus*, se produjeron aumentos en la variable de longitud de tallo con respecto al testigo sin inocular.

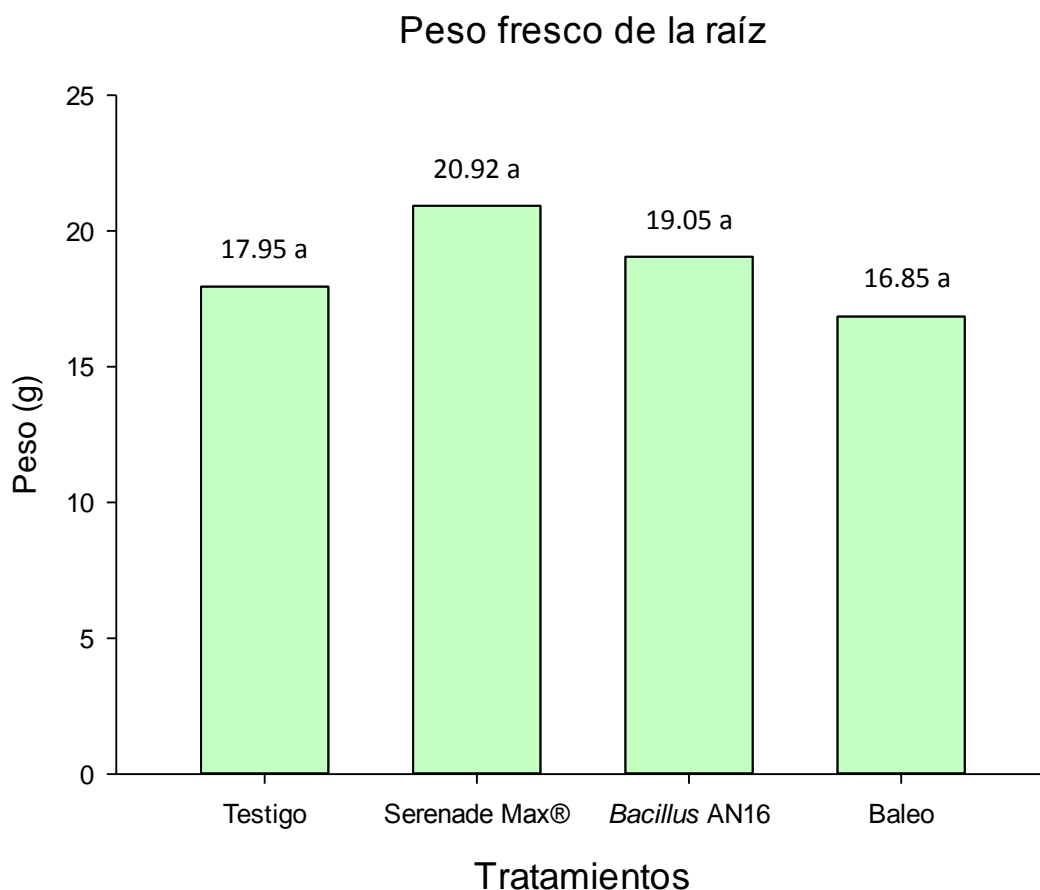


**Figura 10.** Longitud del tallo de ajo.

### Peso fresco de la raíz

En la Figura 11. Se puede observar que no existe diferencia entre los tratamientos, el tratamiento que mayor peso fresco de raíz obtuvo fue Serenade Max® a dosis de 5 kg·ha<sup>-1</sup> con 20.925 g.

Esto difiere de los resultados obtenidos por García, *et al.*, (2015), mencionan que el maíz a la inoculación de *Bacillus amyloliquenofaciens* produjeron plantas con mayor peso fresco en raíz expresado en gramos.



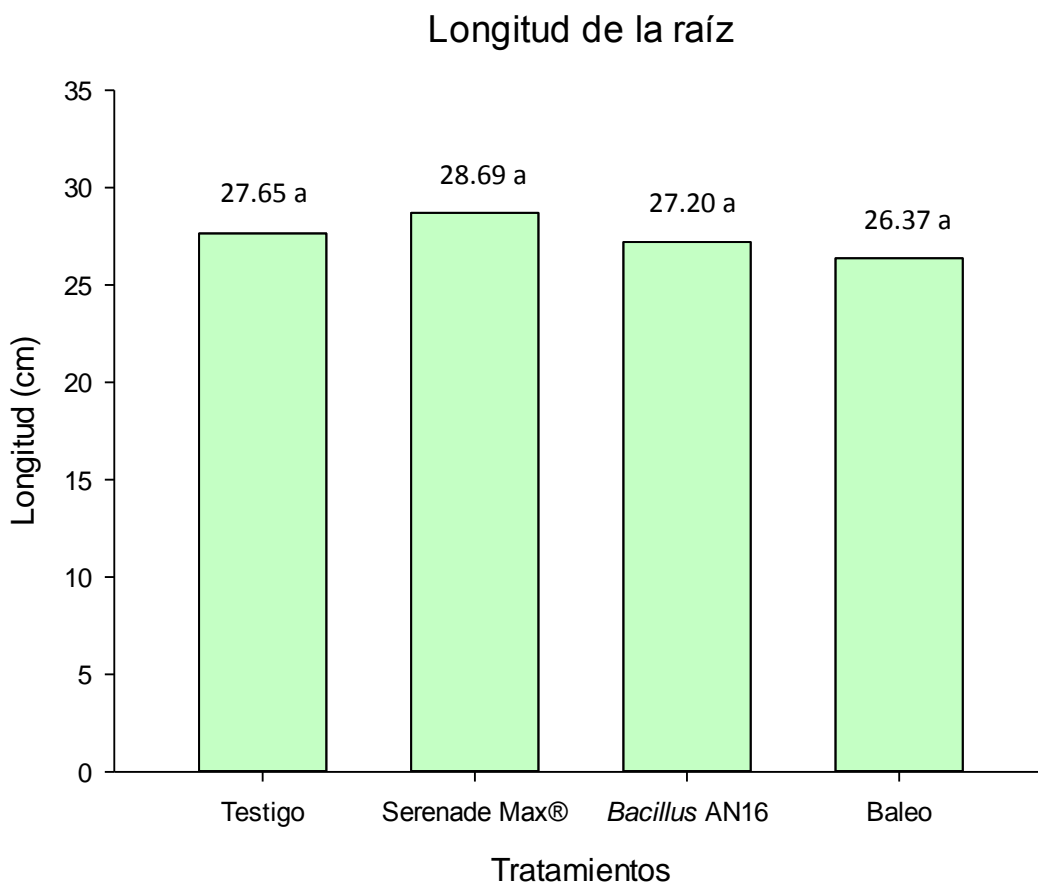
**Figura 11.** Peso fresco de la raíz de ajo.

### Longitud de la raíz

En la Figura 12. Se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo se puede observar numéricamente que

el producto Serenade Max® a dosis de 5 kg·ha<sup>-1</sup> es el producto que obtuvo mayor longitud en la raíz con 28.69 cm.

Adesemoye *et al.*, (2009); Karakurt y Aslantas (2010), difieren de los resultados obtenidos ya que mencionan que las bacterias del género *Bacillus*, especialmente *Bacillus subtilis* ayudan al desarrollo de las plantas, siendo más específicamente a la raíz ayudándole a tener una mejor estructura y mejorando a su vez la absorción de los nutrientes que la planta necesita para su desarrollo, de igual manera García, *et al.*, (2015), mencionan que plantas inoculadas con *Bacillus subtilis* producen plantas con mayor longitud de raíz.



**Figura 12.** Longitud de la raíz de ajo.

## CONCLUSION

La aplicación de productos biológicos aumentan el rendimiento de 10.43% a 22.31% en comparación a la nula aplicación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal.

Los productos *Bacillus* AN16 y Serenade Max® presentaron mejor efecto benéfico, superando la media en la variable peso seco del bulbo.

En la variable diámetro de bulbo el producto *Bacillus* AN16 obtuvo el mayor incremento con un 12.47% en comparación a la nula aplicación de bacterias promotoras de crecimiento, cabe mencionar que todos los productos biológicos se encontraban por encima del testigo.

La ausencia de enfermedades radiculares (*Sclerotium cepivorum*, *Penicilium* sp, *Fusarium* sp) no permitió evaluar la eficiencia en el control de dichas enfermedades, tanto en testigo como en tratamientos.

La aplicación de productos biológicos en general presentaron mejor efecto benéfico en cultivo de ajo.



## LITERATURA CITADA

- Adesemoye, A.O., Obini M., Ugoji E.O. 2008. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. Brazilian Journal of Microbiology. (Online) Scielo. 39: 423-426 DOI: [10.1590/S1517-83822008000300003](https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000300003).
- Adesemoye, A., Torbet, H. y Kloepper, J. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizer. Microbial Ecology. 58(4): 921-929. DOI: [10.1007/s00248-009-9531-y](https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y).
- Aguirre, J., Irizar, M., Duran, A., Grajeda, O., Peña, M. y Loredó, C. 2009. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Folleto Técnico No. 5. INIFAP. 86 pp.
- Ahmad, F, Ahmad, I, Khan, M. S. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research. (Online): Elsevier. 163(2): 173\_181 DOI: [10.1016 / j.micres.2006.04.001](https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001).
- Alonso, R. 2014. Venta de semilla de ajos prosur. Disponible en: <http://spanish.alibaba.com/product-detail/prosur-fresh-garlic-114260683.html?spm=a2700.7787047.0.0.3uhxe6>. Consultado: 16 de febrero 2017.
- Antoun, H. y Prévost D. 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. Z. A. Siddiqui (ed.), PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer. pp: 1 – 38. DOI: [10.1007 / 1-4020-4152-7 1](https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_1).
- Arkhipova, T. N., Veselov, S. U., Melentiev, A. I., Martynenko, E. V., and Kudoyarova, G. R. 2005. Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. Plant and Soil. Vol 272, pp: 201 - 209. DOI: [10.1007/s11104-004-5047-x](https://doi.org/10.1007/s11104-004-5047-x).

- Avis, T., Gravel, V., Antoun, H. y Tweddell R. 2008. Multifaceted beneficial effects of rizhosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*. (Online) Elsevier. 40:1733 – 1740. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.013>.
- Barak, M., Ettehan, G. H., Arab, R., Derakhshani, F., Habibzadeh, S. H., Mahommadnia, H., Dailami, P., Daryani, A., and Zarei, M. 2007. Evaluation of garlic xtracts (*Allium sativum*) effect on commonpathogenic gram-positive and gram-negative bacteria isolated from children whith septicemia hospitalized at Imam Khomeini Hospital. *Research Journal of Biological Sciences*.2:236-238.
- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*. (Online) Elsevier.16:729-770. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0734-9750\(98\)00003-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0734-9750(98)00003-2)
- Bhandari V., Ahmod, Nadia Z., Shah, Haroun N. and Gupta, Radney S. 2013. Molecular signatures for *Bacillus* species: demarcation of the *Bacillus subtilis* and *Bacillus cereus* clades in molecular terms and proposal to limit the placement of new species into the genus *Bacillus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 63:2712 – 2726. DOI: [10.1099/ijs.0.048488-0](http://dx.doi.org/10.1099/ijs.0.048488-0).
- Block, E. 2010. Garlic and other alliums: The lore and the science. Published by The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 454 p.
- Bravo, A. y DUIMOVIC, A. 1981. Efecto de la Epoca de Plantación sobre el Rendimiento Total y Exportable de Ajo Blanco (*Allium sativum*). *Ciencia e Investigación Agraria*. 8(3): 137 - 141.
- Batchvarov, S. 1993. Garlic: *Allium sativum* L. En: Kallo, G and B. O. Bergh (eds.) Genetic improvement of vegetable crops. New York, Pergamon Press. pp: 15 – 27.

- Burba, J.L. 1992. Producción, propagación y utilización del ajo. En FAO, producción, postcosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate. Santiago de Chile: FAO. pp: 63 – 126.
- Burba, J. L., Portela, J. A. y Lanzavechia S. 2005. Argentine Garlic I: A wide offer of clonal cultivars, *Acta Horticulturae*. (ISHS) 688, pp. 291-296, DOI: [10.17660 / ActaHortic.2005.688.41](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.688.41).
- Burba, J.L. 2006. Panorama Sobre la Producción y Comercialización de Ajo en la Argentina. En II Foro Nacional del Ajo, Memorias. Gobierno de Zacatecas; INIFAP, Fundación Produce, Zacatecas; SAGARPA; FIRA; Consejo estatal de Productores de Ajo de Zacatecas A.C. Zacatecas, Zac., México. pp: 1-6.
- Caldeira, A. T., Feio, S. S., Arteiro, J. M. S., Coelho, A. V. and Roseiro, J. C. 2007. Environmental dynamics of *Bacillus amyloliquefaciens* CCM1 1051 antifungal activity under different nitrogen patterns. *Journal of Applied Microbiology*. 104(3): 808 – 816. DOI: [10.1111/j.1365-2672.2007.03601.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03601.x)
- Cárdenas, A. 2005. Efecto de la inoculación con *B. subtilis* DN y *Glomus fasciculatum* sobre la actividad nematocida y producción de cempaxuchil (*Tagetes erecta* var, Alcosa). Tesis de maestría. CINVESTAV-Irapuato, Irapuato, Gto, México.
- Cardona, P. L. y González-Patiño, P. A. 2006. Obtención y Caracterización de la oleorresina del ajo (*Allium sativum*). Tesis de Pre-grado. Escuela de Química. Facultad de Tecnológica, Universidad Tecnológica de Pereira. 73 p.
- Castellanos, R.J.Z.; J.L. Ojodeagua A.; F.S. Méndez G. y P. Vargas T. 2006. Estudios sobre la fertilización del ajo morado en Guanajuato. En II Foro Nacional del Ajo, Memorias. Gobierno de Zacatecas; INIFAP, Fundación Produce, Zacatecas; SAGARPA; FIRA; Consejo estatal de

- Productores de Ajo de Zacatecas A.C. Zacatecas, Zac., México. pp: 7-13.
- Castro, C. J., Solanilla, W. A. Otero, C. A. Quintero, A. de la Rosa C. y W. Moosburger. 1996. Productividad responsable en el campo. Bogotá Colombia, Proyecto Checua, CAR. 155p.
- Calvo, Pamela y Zuñiga, Doris. 2010. Caracterización Fisiológica de Cepas de *Bacillus spp.* aislada de la rizosfera de papa (*Solanum tuberosum*). Ecología Aplicada. 9(1):9.
- Cazorla, F.M., Romero D., Pérez-García A., Lugtenberg B.J.J., de Vicente A., Bloemberg G. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from avocado rhizosphere displaying biocontrol activity. Journal of Applied of Microbiology. 103:1950-1959. DOI:[10.1111/j.1365-2672.2007.03433.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03433.x).
- Chaves, N. y Wang, A. 2004. Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. Agronomía Costarricense. 28(2): 73 – 85.
- Chen, Lin; Liu, Yunpeng; Wu, Gengwei; Verónicas Njeri, Kimani; Shen, Qirong; Zhang, Nan; Zhang, Ruifu. 2016. Induced maize salt tolerance by rhizosphere inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9. Physiologia Plantarum. 158(1):34 – 44. DOI:[10.1111 / ppl.12441](https://doi.org/10.1111/ppl.12441) . ISSN 1.399-3.054.
- Choudhary, D.K., Bhavdish N.J. 2009. Interactions of *Bacillus spp.* and plants-With special reference to induced systemic resistance (ISR). Microbiological Research.(Online) Elsevier. 164:493-513. DOI: 10.1016/j.micres.2008.08.007.
- Cohn, F. 1872. Untersuchungen Uber Bakterien. Beitr Biol Pflanz. 1:127 – 224.

- Diniz, L. P., Maffia, L. A., Dhingra, O. D., Casali, V. W. D., Santos, R. H. S. y Mizubuti, E. S. G. 2006. Avaliação de produtos alternativos para controle da requeima do tomateiro. *Fitopatología Brasileira*. (Online): Scielo Brasil. 31(2):171 – 179.
- Espinoza, J. 2005. Caracterización del proceso de crecimiento de *Bacillus subtilis* bajo condiciones anaeróbicas. (En línea). Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.ibt.unam.mx/alfredo/JoelEspinoza.pdf>. Consulta: 14 de febrero de 2017.
- Esquivel, Cote Rosalba, Gavilanes, Ruiz Marina, Cruz, Ortega Rocío y Huante Pilar. 2013. Importancia agrobiotecnología de la enzima ACC Desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 36(3): 251 – 258.
- Etoh, T. 1997. True Seeds In Garlic. *Acta Hort. (ISHS)* pp: 247-256. DOI: [10.17660/ActaHortic.1997.433.24](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.433.24)
- Euzéby, Jean P. 2016. List of Prokariotic Names with standing nomenclature. Consultado: 13 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.bacterio.net/bacillus.html>.
- Ezziyani, M., Sid, A., Pérez, C., Requena, M. y Candela M. 2006. Control biológico por microorganismos antagonistas (ejemplo en la interacción pimiento *Phytophthora capsici* causante de la tristeza). *Horticultura*. 24(2):8 – 15.
- FAOSTAT. 2014. Programa de trabajo estadístico de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.
- García, Carillo Víctor. 2008. Comportamiento del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.), a la aplicación de agentes microbianos promotores del crecimiento y antagonistas de fitopatógenos. UAAAN. Tesis de Licenciatura. 72 p.

- García, R. A., Lovaisa, N. C. y Ulba, E. L. 2015. Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fosfatos del Noreste Argentino y su efecto en la promoción de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.). Revista Agronómica del Noreste de Argentina. 35(1):19 – 28.
- Giaconi, V. y Escaff, M. 1999. Cultivo de Hortalizas. 14<sup>a</sup> ed. Universitaria. Santiago, Chile. 337 p.
- Guédes, C., Cañizales, L., Castillo, C. y Olivar R. 2009. Efecto antagonico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos patogenos Postcosecha de la fresa. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. (Online) Scielo. 29(2):34 – 38.
- Guillen-Cruz, Raquel, Hernández-Castillo Francisco Daniel, Gallegos-Morales, Gabriel, Rodriguez-Herrera Raul, Aguilar-Gonzalez, Cristobal, Padron-Corral, Emilio y Reyes-Valdez Manuel Humberto. 2006. *Bacillus* spp. como Biocontrol en un Suelo Infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su Efecto en el Desarrollo y Rendimiento del Cultivo de Chile (*Capsicum annum* L.) Revista Mexicana de Fitopatología. 24(2):105-114.
- Heredia, García, E. y Delgadillo Sánchez (Comps.) 2000. El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción. Celaya, Gto. México. SAGARPA, INIFAP, Campo Experimental Bajío. Libro Técnico No. 3. 102 p.
- Hernández, Suárez, Marcela, Hernández-Castillo, Francisco Daniel, Lira-Saldívar Ricardo Hugo, Gallegos-Morales Gabriel. 2010. Biocontrol de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* sp. con Microencapsulados de *Bacillus subtilis* y su Efecto en Crecimiento y Rendimiento de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Agraria-Nueva Epoca. 7:17 – 25.

- Heulin, T., O. Berge, P. Mavingui, L. Gouzou, K.P. Hebbar, and J. Balandreau. 1994. *Bacillus polymyxa* and *Rahnella aquatilis*, the dominant N<sub>2</sub>-fixing bacteria associated with wheat rhizosphere in French soils. *European Journal of Soil Biology*. 30(1):35 – 42.
- Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatogenos. *Revista Protección Vegetal*. (Online) Scielo. 24(1):37 – 47.
- Kamenetsky, R. and Rabinowich, H. D. 2006. The Genus *Allium*: A Developmental and Horticultural Analysis. *Horticultural Reviews*. 32: 329-337.
- Karakurt, H. y Aslantas, R. 2010a. Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 18(1): 101-110.
- Kloepper, J. W., Schroth, M. N. Miller, T. D. 1980. “Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield”. *Phytopathology*. pp: 1078 – 1082. DOI: [10.1094 / Phyto-70-1078](https://doi.org/10.1094/Phyto-70-1078).
- Lipinski, V.M. 2015. Manejo del Riego y la Fertilización en el cultivo de Ajo. Estación Experimental Agropecuaria La consulta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto Ajo/INTA No. 114. 13 p.
- Lisboa, M. 2003. Efectividad de *Bacillus subtilis* y de una cepa nativa de *Trichoderma harzianum* sobre la incidencia y severidad de pudrición gris (*Botrytis cinérea*) en vid vinera (en línea). Universidad de Talca Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agronomía, Chile. Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/919/1/MLisboaM.pdf>. Consulta: 14 de febrero de 2017.

- Macías, V. L. M., Maciel, P. L. H., Silos, E. H. y Vázquez, M. O. 2009. Mejoramiento de ajo perla por selección individual en Aguascalientes. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 34:4 – 9.
- Macías V. L. M. y Maciel P. L. H. 2015. Tecnología para la producción de ajo en Aguascalientes. Campo Experimental Pabellón – INIFAP. Folleto para Productores. 47:44. ISBN: 978-607-37-0471-7.
- Magaña, Sánchez, Michelle, María. 2015. Efecto de *Bacillus subtilis* sobre el rendimiento, desarrollo y propiedades nutraceuticas de fresa. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 103 pp.
- Maghirang, R.G. and Miranda, M.B. 2001. Garlic Production Guide. Agriculture Magazine, 6:3.
- Main, Gladys y Franco, Javier. 2011. Efecto de la bacteria *Bacillus subtilis* y el hongo Micorrizico Arbuscular *Glomus fasciculatum* en la fertilización fosfórica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* ssp. andigena). Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa. 16(2):250-269.
- Matiru, Vivienne N. and Dakora, Felix D. 2004. Potensial use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. African Journal of Biotechnology. 3:1 – 7.
- Mena, Violante, Hortencia G., Cruz-Hernández, Adrés, Paredes-López, Octavio, Gómez-Lim, Miguel Á., Olalde-Portugal, Víctor. 2009. Fruit texture related changes and enhanced shelf-life through tomato root inoculation with *Bacillus subtilis* BEB-13BS. Agrociencia. 43(6):559-567.
- Mokaddem, H., Z. Sadaoui, N. Boukhelata, N. Azouaou, and Y. Kaci. 2009. Removal of Cadmium from aqueous solution by polysaccharide produced from *Paenibacillus polymyxa*. Journal of Hazardous



Materials. 172(2-3):1150 – 1155. DOI: [10.1016 / j.jhazmat.2009.07.116](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.116).

NMX-FF-018-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-especie-ajo (*Allium sativum* L.)-especificaciones (Cancela a la NMX-FF-018-SCFI-1999).

Okinaka, R. T. and Keim P. 2016. The Phylogeny of *Bacillus cereus* sensu lato. Microbiol Spectr. 4(1):239 – 251 DOI: [10.1128 / microbiolspec.TBS-0.012](https://doi.org/10.1128/microbiolspec.TBS-0.012) hasta 2.012.

Oseguera, A. S. 2005. Uso de bacterias espatuladas como promotoras de crecimiento en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y para (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 53 p.

Priest, F. G., Goodfellow, M., Shute L. A. and Berkeley, C. W. 1987. *Bacillus amyloliquefaciens* sp. nov., nom. rev. International Journal of Systematic Bacteriology. 37(1):69 – 71.

Puente, M. E., Bashan, Y., Li, C. Y., Lebsky, V. K. 2004. Microbial population and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plant. I. Root colonization and igneous rocks. Plant Biology. 6(5):629 – 642. DOI: [10.1055 / s-2004-821100](https://doi.org/10.1055/s-2004-821100)

Qiu, Meihua; Xu, Zhihui; Li, Xingxing; Li, Qing; Zhang, Nan; Shen, Qirong, and Zhang, Ruifu. 2014. Comparative Proteomics Analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 Revealed the Key Proteins Involved in in Situ Root Colonization. Journal of Proteome Research. 13(12):5581 – 5591. DOI: [10.1021/pr500565m](https://doi.org/10.1021/pr500565m).

Ravi A.V., K.S. Musthafa, G. Jegathammbal, K. Kathiresan, and S.K. Pandian. 2007. Screening and evaluation of probiotics as a biocontrol agent against pathogenic Vibrios in marine aquaculture. Letters in Applied Microbiology. 45(2):219 – 223. DOI: [10.1111/j.1472-765X.2007.02180.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2007.02180.x)

- Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R. y Bravo Lozano, A. G. 2009. Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro Técnico No. 11. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. 272 p.
- Robles, P. J., R. A. Armenta C. y E. Valenzuela C. 2006. México en el contexto global de la Producción de Ajo. En memorias, Seminario Técnico: Tecnología para la producción de ajo en la sierra de Sonora. Universidad de Sonora-INIFAP. pp: 7 – 14.
- Rojas, Solís Daniel, Contreras, Pérez Miguel y Santoyo, Gustavo. 2013. Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. *Biológicas*. 15(2):36 – 41.
- Romo, C. J. J. 1994. Estudios de efectividad biológica de *Bacillus subtilis* y Fungibac sobre *Rhizoctonia solani* Kunh en papa bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 65 p.
- Sánchez-Yáñez, J. M. 2005. Producción de leguminosas a base de inoculantes de *Rhizobium*. (Disponible en línea en <http://www.monografias.com/trabajos16/rhizobium/rhizobium.shtml>) (Consulta: 10 febrero de 2017).
- Santoyo G., Orozco-Mosqueda M. and Govindappa, M. 2012. “Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review”. *Biocontrol Science and Technology*. 22(8):855–872. DOI: [10.1080/09583157.2012.694413](https://doi.org/10.1080/09583157.2012.694413).
- Schoebitz, M. 2006. Aislamiento y caracterización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal de la rizosfera de *Lolium perenne* L. de suelo volcánico (modelo género *Azospirillum spp.*). Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile, Escuela de Agronomía. Valdivia-Chile. 77 p.

- SIAP, (2014) *Producción Agrícola 2014*. Consulta: 12 enero 2017. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- SIAP. 2015. *Producción Agrícola 2015*. Consulta: 18 enero 2017. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- Torres, Urbano, Argelia Guillermina. 2008. Unos de *Bacillus amyloliquefaciens* como control biológico para cenicilla polvorienta del rosal *Sphaerotheca pannosa*. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 72 p.
- Takhtajan, A., 1997. *Diversity and Classification of Flowering Plants*. New York, Columbia University Press: 643 p.
- Tejera, Hernández Berto T., Rojas, Badía Marcia M. y Heydrich, Pérez Mayra. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 42(3):131 – 138.
- Thomas, P. 2004 Isolation of *Bacillus pumilus* from in vitro grapes as a long-term alcohol-surviving and rhizogenesis inducing covert endophyte. *Journal of Applied Microbiology*. 97:114-123. DOI: [10.1111/j.1365-2672.2004.02279.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02279.x).
- Timmusk, S., B. Nicander, U. Granhall, and E. Tillberg. 1999. Cytokinin production by *Paenibacillus polymyxa*. *Soil Biology and Biochemistry*. 31(13):1847–1852. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00113-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00113-3)
- Timmusk, S., N. Grantcharova, E. Gerhart, and H. Wagner. 2005. *Paenibacillus polymyxa* Invades Plant Roots and Forms Biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*. 71(11):7292 – 7300. DOI: [10.1128/AEM.71.11.7292-7300.2005](https://doi.org/10.1128/AEM.71.11.7292-7300.2005).

- Trejo, P. P. 2006. Presentación, Foro Nacional del Ajo. Memorias. Gobierno de Zacatecas, SAGARPA, FIRA, Consejo Estatal de Productores de Ajo de Zacatecas, México. pp: 9 – 13.
- Valadez, L., A. 1994. Producción de Hortalizas. UTEHA-Noriega Editores. D. F., México. 298 p.
- Velásquez, V .R., Medina, A. M. M. y Rubio, D. S. 2002. Guía para el manejo de la pudrición blanca del ajo en Zacatecas. Folleto Técnico No. 9 Campo Experimental Zacatecas – INIFAP. Calera, Zac, Méx. 20 p.
- Velásquez, V. R. y Medina A. M. M. 2007. Guía para identificar las enfermedades de la raíz del ajo en Aguascalientes y Zacatecas. p. 66 -79. En: Tecnología reciente del cultivo de ajo. Comp. Robles, E. F. J., Macías V. L. M. y Maciel P. L. H. Publicación Especial No. 33. Campo Experimental Pabellón – INIFAP. Aguascalientes, Ags., Méx. 112 p.
- Velásquez, V. R., Amador-Ramírez, M. D. y Reveles-Hernández, M. 2008. Logros y rezagos en la investigación fitopatológica realizada por el Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuario (INIFAP) en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) En Aguascalientes y Zacatecas. Investigación y Ciencia, 42:4-10.
- Weert, S. Y Bloemberg, G. 2006. Rhizosphere competence and the role of root colonization in biocontrol. Gnanamanickam (ed.). Plant-Associated Bacteria. Parte 2. pp: 317 – 333. DOI: [10.1007/978-1-4020-4538-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4538-7_9).
- Zengguo, H., D. Kisla, L. Zhang, C. Yuan, K.B. Green-Church, and A.E. Yousef. 2007. Isolation and Identification of a *Paenibacillus polymyxa* Strain That Coproduces a Novel Lantibiotic and *Polymyxin*. *Applied and Environmental Microbiology*. 73(1):168 – 178. DOI: [10.1128 / AEM.02023-06](https://doi.org/10.1128/AEM.02023-06).

## APÉNCICE

**Tabla 1.** Clasificación de bulbos de ajo, norma NMX-FF-018-SCFI-2006.

Tamaño o Calibre	Intervalos de diámetro en milímetros		
	Mínimo	a	Máximo
12	75	a	MAS
11	70	a	75
10	65	a	70
9	60	a	65
8	55	a	60
7	50	a	55
6	45	a	50
5	40	a	45
4	35	a	40
3	MENOS	a	35

**Tabla 2.** Concentración de datos para la variable número de plantas por m<sup>2</sup>.

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	23	24	26	24
Serenade Max <sup>®</sup>	25	22	26	24
<i>Bacillus</i> AN16	22	23	26	26
Baleo	24	27	22	25

**Tabla 3.** Análisis de varianza del número de plantas por m<sup>2</sup>.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	5.875	0.97916667	0.26	0.9412
Error	9	33.5625	3.72916667		
Total	15	39.4375			

C.V. = 7.942848 %
-------------------

**Tabla 4.** Medias y agrupación de medias del número de plantas por m<sup>2</sup>.

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Baleo	24.5	A
Testigo	24.25	A
<i>Bacillus</i> AN16	24.25	A
Serenade Max <sup>®</sup>	24.25	A
$\mu = 24.3125$		

**Tabla 5.** Concentración de datos para la variable rendimiento (t·ha<sup>-1</sup>).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	11.55	14.03	12.09	11.39
Serenade Max <sup>®</sup>	14.32	15.06	14.09	14.09
<i>Bacillus</i> AN16	15.49	15.64	14.62	14.26
Baleo	15.77	14.16	12.03	12.22

**Tabla 6.** Análisis de varianza para rendimiento (t·ha<sup>-1</sup>).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	25.2252875	4.20421458	5.1	0.0151
Error	9	7.41400625	0.82377847		
Total	15	32.63929375			
$C.V. = 6.576676 \%$					

**Tabla 7.** Medias y agrupación de medias de rendimiento (t·ha<sup>-1</sup>).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
<i>Bacillus</i> AN16	15.0025	A
Serenade Max <sup>®</sup>	14.39	A
Baleo	13.545	AB
Testigo	12.265	B
$\mu = 13.80063$		

**Tabla 8.** Concentración de datos para peso completo de las plantas de ajo (g).

Muestreo 1		Bloques			
Tratamientos	1	2	3	4	
Testigo	149.2	231.3	183.6	197.4	
Serenade Max®	147.4	216.2	245.8	190	
<i>Bacillus</i> AN16	190.4	126.2	261.1	181.7	
Baleo	150.3	176	185.1	228.9	

Muestreo 2		Bloques			
Tratamientos	1	2	3	4	
Testigo	148.5	200.55	161.4	177.1	
Serenade Max®	137.9	182.1	201.6	172.7	
<i>Bacillus</i> AN16	176.5	156.1	221.55	155.45	
Baleo	162.45	180.7	158.75	191.95	

**Tabla 9.** Análisis de varianza de peso completo de las plantas de ajo (g).

Muestreo 1

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	7924.905	1320.8175	0.87	0.5503
Error	9	13633.4725	1514.8303		
Total	15	21558.3775			

C.V. = 20.34677 %
-------------------

Muestreo 2

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	1770.02125	295.003542	0.56	0.7552
Error	9	4771.988125	530.220903		
Total	15	6542.009375			

C.V. = 13.27034 %
-------------------

**Tabla 10.** Medias y agrupación de medias de peso completo de las plantas de ajo (g).

Muestreo 1

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Serenade Max®	199.85	A
Testigo	190.38	A
<i>Bacillus</i> AN16	189.85	A
Baleo	185.08	A
$\mu = 191.2875$		

Muestreo 2

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
<i>Bacillus</i> AN16	175.15	A
Serenade Max®	173.58	A
Baleo	173.46	A
Testigo	171.89	A
$\mu = 173.5188$		

**Tabla 11.** Concentración de datos para diámetro de tallo (mm).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	16.227	19.545	17.073	17.919
Serenade Max®	15.167	18.011	20.044	17.226
<i>Bacillus</i> AN16	17.819	14.57	21.164	16.405
Baleo	16.711	17.011	16.562	19.911

**Tabla 12.** Análisis de varianza del diámetro del tallo (mm).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	6.61562642	1.1026044	0.23	0.9548
Error	9	42.53751902	4.726391		
Total	15	49.15314544			
$C.V. = 12.36248 \%$					



**Tabla 13.** Medias y agrupación de medias del diámetro de tallo (mm).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Testigo	17.691	A
Serenade Max <sup>®</sup>	17.612	A
Baleo	17.55	A
<i>Bacillus</i> AN16	17.49	A
$\mu = 17.58569$		

**Tabla 14.** Concentración de datos para diámetro de bulbo (mm).

Muestreo 1	Bloques			
Tratamientos	1	2	3	4
Testigo	45.105	54.731	50.517	50.333
Serenade Max <sup>®</sup>	47.328	54.469	55.536	53.57
<i>Bacillus</i> AN16	52.685	43.948	55.498	52.814
Baleo	45.78	51.982	50.988	55.08
Muestreo 2	Bloques			
Tratamientos	1	2	3	4
Testigo	51.704	55.511	53.389	51.801
Serenade Max <sup>®</sup>	55.389	56.67	55.688	56.953
<i>Bacillus</i> AN16	59.552	59.036	60.047	60.847
Baleo	57.422	54.772	51.187	52.674

**Tabla 15.** Análisis de varianza del diámetro de bulbo (mm).

Muestreo 1

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	89.170179	14.8616965	1.01	0.4755
Error	9	132.638642	14.7376269		
Total	15	221.808821			
$C.V. = 7.487333 \%$					

Muestreo 2

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	113.164062	18.860677	5.55	0.0115
Error	9	30.5655418	3.3961713		
Total	15	143.7296037			

C.V. = 3,30322 %
------------------

**Tabla 16.** Medias y agrupación de medias del diámetro de bulbo (mm).

Muestreo 1

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Serenade Max®	52.726	A
<i>Bacillus</i> AN16	51.236	A
Baleo	50.958	A
Testigo	50.172	A

$\mu = 51.27275$
------------------

Muestreo 2

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
<i>Bacillus</i> AN16	59.871	A
Serenade Max®	56.175	AB
Baleo	54.014	B
Testigo	53.101	B

$\mu = 55.79013$
------------------

**Tabla 17.** Concentración de datos para longitud de raíz (cm).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	30.3	26.55	25.35	28.4
Serenade Max®	22.8	30.96	31.9	29.13
<i>Bacillus</i> AN16	25.65	26.75	26.4	30
Baleo	28.5	24.95	28.25	23.8

**Tabla 18.** Análisis de varianza de la longitud de raíz (cm).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	14.6278875	2.4379813	0.25	0.9486
Error	9	88.8196063	9.8688451		
Total	15	103.4474938			

C.V. = 11.43159 %
-------------------

**Tabla 19.** Medias y agrupación de medias de la longitud de raíz (cm).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Serenade Max <sup>®</sup>	28.698	A
Testigo	27.65	A
<i>Bacillus</i> AN16	27.2	A
Baleo	26.375	A

$\mu = 27.48063$
------------------

**Tabla 20.** Concentración de datos para longitud del tallo (cm).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	39.6	45.5	37.14	44.2
Serenade Max <sup>®</sup>	43.15	42.55	45.9	42.4
<i>Bacillus</i> AN16	43.7	39.6	45.4	40.7
Baleo	37.5	46.65	41.6	42.8

**Tabla 21.** Análisis de varianza de la longitud del tallo (cm).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	21.2360375	3.5393396	0.31	0.9187
Error	9	104.2490562	11.5832285		
Total	15	125.4850938			

C.V. = 8.027039 %
-------------------

**Tabla 22.** Medias y agrupación de medias de la longitud del tallo (cm).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Serenade Max <sup>®</sup>	43.5	A
<i>Bacillus</i> AN16	42.35	A
Baleo	42.138	A
Testigo	41.61	A
$\mu = 42.3993$		

**Tabla 23.** Concentración de datos para peso fresco de la raíz de ajo (g).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	11.1	19.7	22.7	18.3
Serenade Max <sup>®</sup>	13.3	25.6	28.5	16.3
<i>Bacillus</i> AN16	13.3	14.9	25.9	22.4
Baleo	16.8	12	21	17.6

**Tabla 24.** Análisis de varianza del peso fresco de la raíz de ajo (g).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	273.20375	45.5339583	2.92	0.0722
Error	9	140.185625	15.5761806		
Total	15	413.389375			
$C.V. = 21.11223 \%$					

**Tabla 25.** Medias y agrupación de medias del peso fresco de la raíz de ajo (g).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
Serenade Max <sup>®</sup>	20.925	A
<i>Bacillus</i> AN16	19.05	A
Testigo	17.95	A
Baleo	16.85	A
$\mu = 18.69375$		

**Tabla 26.** Concentración de datos para peso seco del bulbo de ajo (g).

Tratamientos	Bloques			
	1	2	3	4
Testigo	49.09	59.64	51.4	48.42
Serenade Max <sup>®</sup>	60.87	64.01	59.86	59.9
<i>Bacillus</i> AN16	65.84	66.45	62.13	50.61
Baleo	67.04	60.19	51.13	51.92

**Tabla 27.** Análisis de varianza del peso seco del bulbo de ajo (g).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P > F
Tratamientos	6	455.04725	75.8412083	5.08	0.0153
Error	9	134.320925	14.9245472		
Total	15	589.368175			

C.V. = 6.58622 %
------------------

**Tabla 28.** Medias y agrupación de medias del peso seco del bulbo de ajo (g).

Tratamientos	Medias	Agrupamiento
<i>Bacillus</i> AN16	63.758	A
Serenade Max <sup>®</sup>	61.16	A
Baleo	57.57	AB
Testigo	52.138	B

$\mu = 58.65625$
------------------