

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Sulfato de Plata en la Producción y Calidad de Ajo Cultivado en Dos Ambientes

Por:

DAVID RINCÓN MONTIEL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Sulfato de Plata en la Producción y Calidad de Ajo Cultivado en Dos Ambientes

Por:

DAVID RINCÓN MONTIEL

TESIS

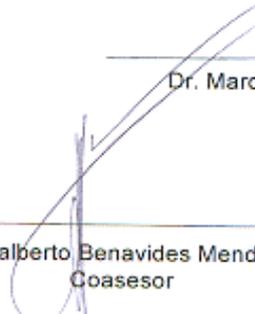
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada



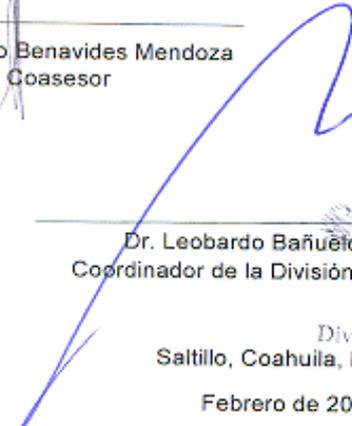
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor Principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme puesto en el camino de la sabiduría y guiarme en la dirección correcta para lograr este triunfo, así como por haber puesto en cada etapa de mi vida a las personas correctas que me han ayudado durante este arduo camino de estudios, también por haberme dado a mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional.

A La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios en esta universidad y por haberme abrigado durante lo largo de mi carrera así como por la educación que aquí recibí.

A el Dr. Marcelino Cabrera De La fuente, por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo así como por su apoyo para que este trabajo lograra llevarse a cabo.

AL Dr. Adalberto Benavides Mendoza por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A la Dra. Hortensia Ortega Ortiz por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A mis hermanas Jessica, Olibia y a mi hermano Jacobo, que siempre han estado a mi lado apoyándome en cada paso que he dado en mi vida.

A mis amigos Andrés De la Cruz, Erick R., Juan Pablo, Miguel Ángel Manzano, Julio M., Miguel A. G., Víctor Pérez, Leonel Espinoza, Diego Reyes, Iván Bautista, Salvador Cruz. Que me acompañaron durante lo largo de mi carrera profesional y por su colaboración para la realización de este trabajo.

A José Nieves Almaguer Medellín y a Víctor Solís Martínez. Por brindarme su apoyo incondicional durante mi estancia aquí en la universidad.

DEDICATORIAS

A mis padres, porque siempre han estado a mi lado en las buenas y las malas brindándome su cariño y confianza en cada momento y por haberme guiado siempre por el buen camino y enseñarme el valor del trabajo.

A mi madre Antonia Montiel Ariza, que con su ternura y comprensión me ha guiado por el buen camino, también con sus consejos y su cariño que me ha brindado desde niño esto siempre me ha motivado para hacer posible y cumplir con mis metas.

A mi padre Mauro Rincón Carranza, que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para que siguiera estudiando. Y enseñarme el valor del trabajo de esta manera contribuyendo en mi como persona para que siempre en donde quiera que vaya las cosas las haga con entusiasmo y con mucho esfuerzo para lograr mis objetivos que yo desee en mi vida, gracias a ello he logrado conseguir terminar este sueño de mi carrera de ingeniero agrónomo en horticultura.

A mis hermanos.

Jacobo Rincón Montiel

Olibia Rincón Montiel

Jessica Rincón Montiel

Por haber compartido siempre momentos buenos y malos así como por estar siempre apoyándome para salir adelante, también por estar en los momentos más importante de mi vida.

Correo electrónico: david92uaaan@gmail.com David Rincón Montiel

ÍNDICE DE TEXTO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
ÍNDICE DE TEXTO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE).....	ix
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivo General.....	3
1.1.1 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis	3
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del cultivo	4
2.1.1 Origen	4
2.1.2 Clasificación taxonómica	4
2.1.3 Descripción del cultivo	4
2.2 Fisiología del desarrollo	5
2.2.1 Brotación.....	6
2.2.2 Crecimiento vegetativo	6
2.2.3 Floración	6
2.2.4 Maduración	6
2.3 Requerimientos edafoclimáticos	7
2.4. Importancia del cultivo	7
2.4.1 Producción mundial	7
2.4.2 Producción nacional.....	9

2.4.3 Propiedades nutricionales.....	10
2.4.4 Parámetros de calidad	11
2.4.4.1 Requisitos mínimos de calidad para los bulbos de ajo	11
2.4.4.2 Clasificación.....	11
2.4.5 Factores que influyen en el sabor.....	12
2.4.5.2 Luminosidad	13
2.4.5.3. El genotipo.....	13
2.5 Usos del ajo	13
2.5.1 Usos en la alimentación.....	13
2.5.2 Usos en la salud humana	14
2.5.3 Usos en la protección de cultivos.....	15
2.6 Principales componentes del ajo.....	15
2.6.1 Compuestos orgánicos	16
2.6.2 Compuestos organosulfurados	16
2.6.3 Compuestos fenólicos.....	17
2.7 Principales antioxidantes del ajo.....	18
2.7.1 Flavonoides	18
2.7.2 Alicinas	19
2.7.3 El ajo como antioxidante.....	20
2.7.4 Efecto sobre los radicales libres	21
2.7.5 Importancia de la vitamina C	21
2.8 Generalidades de la plata	22
2.8.1 Riesgos de la plata	23
2.8.2 Usos y funciones del sulfato de plata.....	24
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Localización geográfica del trabajo de investigación	26
3.2 Material genético.....	27

3.3 Siembra.....	27
3.4 Manejo del cultivo	27
3.4.1 Riego	27
3.4.2 Fertilización.....	28
3.4.2.1 Macroelementos	28
3.4.2.2 Microelementos.....	29
3.4.3 Control de malezas	29
3.4.4 Control de plagas.....	29
3.4.5 Control de enfermedades	30
3.5 Aplicación del Sulfato de Plata	30
3.6 Tratamientos Evaluados	30
3.7 Diseño experimental	30
3.8 Variables evaluadas.....	31
3.8.1 Peso de bulbos	31
3.8.2 Diámetro Polar del Bulbo	31
3.8.3 Diámetro Ecuatorial del Bulbo	31
3.8.4 Número de Bulbillos.....	31
3.8.6 Firmeza de Bulbos	31
3.8.7 °Brix	31
3.8.8 Potencial Redox.....	32
3.8.9 Vitamina C	32
3.9 Análisis Estadístico	33
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	33
4.1 Peso de Bulbos	33
4.2 Diámetro Polar	34
4.3 Diámetro Ecuatorial.....	35
4.4 Número de Bulbillos	36

4.5 Firmeza de Bulbos	37
4.6 Sólidos Solubles Totales (°Brix).....	38
4.7 Potencial Redox.....	39
V.- CONCLUSIONES.....	42
VI.- BIBLIOGRAFÍA.....	43
VII. - APÉNDICE	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aplicación de Nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por Etapas.....	28
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de Ag_2SO_4 aplicados al ajo.....	30
Cuadro 3. Condiciones de trabajo del cromatógrafo de líquidos para la cuantificación de vitamina C de ajo tratado con Ag_2SO_4	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la superficie cosechada y producción de ajos a nivel mundial.....	8
Figura 2. Peso de bulbos de ajo tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicado vía foliar	33
Figura 3. Diámetro Polar de bulbos de ajo tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4), a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....	34
Figura 4. Diámetro Ecuatorial de bulbos de ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....	35
Figura 5. Número de bulbillos por bulbo del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....	36

Figura 6. Firmeza de bulbos de ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4), a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....37

Figura 7. Solidos Solubles Totales ($^\circ\text{Brix}$) del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....38

Figura 8. Potencial redox del cultivo del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.....39

Figura 9. Contenido de vitamina C en los bulbos de ajo, tratados con aplicaciones foliares de sulfato de plata (Ag_2SO_4).....40

ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE)

Tabla 1. Comparación de medias para peso de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).....50

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable peso de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).....50

Tabla 3. Comparación de medias para peso de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).....50

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable peso de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).....51

Tabla 5. Comparación de medias para el diámetro polar de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).51

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable diámetro polar de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).....51

Tabla 7. Comparación de medias para el diámetro polar de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).....52

Tabla 8. Análisis de varianza para el variable diámetro polar de los bulbos para el ambiente (Saltillo).....	2
Tabla 9. Comparación de medias para el diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).....	52
Tabla 10. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).	53
Tabla 11. Comparación de medias para el diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).	53
Tabla 12. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente (Saltillo).....	2 53
Tabla 13. Comparación de medias para el número de bulbillos (dientes) en los bulbos para el ambiente (Guanajuato).....	1 54
Tabla 14. Análisis de varianza para la variable número de bulbillos en el ambiente (Guanajuato).....	1 54
Tabla 15. Comparación de medias para el número de bulbillos (dientes) en los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).	54
Tabla 16. Análisis de varianza para la variable número de bulbillos en el ambiente (Saltillo).....	2 55
Tabla 17. Comparación de medias para la firmeza de los bulbos en el ambiente 1 (Guanajuato).....	55
Tabla 18. Análisis de varianza para la variable firmeza de bulbos en el ambiente (Guanajuato).....	1 55
Tabla 19. Comparación de medias para la firmeza de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).....	56
Tabla 20. Análisis de varianza para la variable firmeza de bulbos en el ambiente (Saltillo).....	2 56

Tabla 21. Comparación de medias de los grados Brix de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).....	56
Tabla 22. Análisis de varianza para la variable Brix de los bulbos en el ambiente1 (Guanajuato).....	57
Tabla 23. Comparación de medias de los grados Brix de los bulbos para el ambiente (Saltillo).....	2 57
Tabla 24. Análisis de varianza para la variable grados Brix de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).....	57
Tabla 25. Comparación de medias del potencial redox de los bulbos para el ambiente (Guanajuato).....	1 58
Tabla 26. Análisis de varianza para la variable potencial redox de los bulbos en el ambiente (Guanajuato).....	1 58
Tabla 27. Comparación de medias del potencial redox de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).....	58
Tabla 28. Análisis de varianza para la variable potencial redox de los bulbos en el ambiente (Saltillo).....	2 59
Tabla 29. Comparación de medias para vitamina C de los bulbos para el ambiente (Guanajuato).....	1 59
Tabla 30. Análisis de varianza para la variable vitamina C de los bulbos en el ambiente (Guanajuato).....	1 59
Tabla 31. Comparación de medias para vitamina C de los bulbos para el ambiente (Saltillo).....	2 60
Tabla 32. Análisis de varianza para la variable vitamina C de los bulbos en el ambiente (Saltillo).....	2 60

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos ambientes lo cual el ambiente 1 fue en el municipio de Santacruz de Juventino Rosas en el estado de Guanajuato y el ambiente 2 se estableció en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, llevándose a cabo en el ciclo de octubre-marzo 2013, con el fin de evaluar el efecto del sulfato de plata (Ag_2SO_4) en la producción y calidad de ajo, el trabajo se realizó en condición de campo abierto, lo cual se utilizaron diferentes concentraciones de sulfato de plata en lo cual se establecieron 6 tratamientos con las siguientes concentraciones del compuesto el T1 (0 mg), T2 (30 mg), T3 (60 mg), T4 (90 mg), T5 (120 mg), T6 (150 mg), en los dos ambientes se realizaron las aplicaciones foliarmente con intervalos de 15 días comenzando las aplicaciones en la emergencia y concluyendo en la etapa de bulbificación. El material que se utilizó fue ajo morado de la variedad Tacázcuaru.

El diseño experimental que se utilizó fue el diseño de bloques al azar con 6 tratamientos y 20 repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS v. 9.0 y una comparación de medias con Duncan. Las variables que se evaluaron fueron: peso de bulbo, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de bulbillos, firmeza de bulbo, °Brix, potencial redox y vitamina C. Al aplicar Sulfato de plata en el cultivo de ajo hay efecto en el potencial redox debido a que en el ambiente 1 (Gto) en el tratamiento 4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) presento un potencial antioxidante mayor de -90 mV, mientras que en el ambiente 2 (Saltillo) el T3 ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) mostro un potencial antioxidante de -86.66 mV, también tuvo efecto en los °Brix para el ambiente 1 se obtuvo en el T4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) con 32 °Brix y en el ambiente 2 fue el T3 con 20.56 °Brix. El complejo mostro efecto negativo en las variables de peso de bulbo, diámetro ecuatorial. El sulfato de plata no ejerce efecto en las variables de número de bulbillos, firmeza, mas sin embargo el ambiente 1 (Guanajuato) obtuvo mejor resultado que el ambiente 2 (Saltillo). Y para la variable de vitamina C tampoco se obtuvo diferencia significativa en los dos ambientes pero el ambiente 2 (Saltillo) supero al ambiente 1 (Guanajuato).

Palabras clave: Sulfato de plata, *Allium sativum*.

I.- INTRODUCCIÓN

El ajo es uno de los cultivos más importantes para la agricultura mexicana debido al volumen y valor de su producción, el cual en 2010 se calculó un ingresos por 716 mil 390.71 miles de pesos de acurdo con (Pérez, 2010). Sin embargo la producción mundial anual es de 11.79 millones t, destacando China, con 74% de la producción, seguido por Corea, India y Estados Unidos. México tiene 0.55% de dicha producción, con 65 200 t y una superficie sembrada de 8117 ha (SAGARPA., 2012).

En los estudios de investigación más recientes ha adquirido gran importancia por las cualidades para la salud humana debida a los numerosos compuestos bioactivos del ajo. Entre estos compuestos se encuentran fructanos, de efecto prebiótico, derivados polifenólicos con propiedades antioxidantes, y compuestos azufrados, que son útiles en la prevención de enfermedades cardiovasculares y otros trastornos característicos de la sociedad actual (Torija, *et al.*, 2013). La composición cualitativa y cuantitativa de los compuestos del ajo se encuentra sujetos a importantes variaciones ambientales, según el proceso al que sean sometidos los bulbos, lo cual incide a su vez en su calidad así como en los niveles de antioxidantes (Navarro, 2007).

Los metales pesados, en concentraciones excesivas estimulan los sistemas antioxidantes y aceleran su germinación y el crecimiento, y por ende la defensa antioxidante provoca un daño orgánico conocido como estrés oxidativo, que lleva a una variedad de cambios fisiológicos y bioquímicos que ocasionan el deterioro y muerte celular (Krishnaraj, 2012).

1.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la aplicación de sulfato de plata aplicado vía foliar en el cultivo del ajo en dos ambientes de crecimiento.

1.1.1 Objetivos Específicos

Determinar la concentración adecuada de sulfato de plata para incrementar la producción y calidad del cultivo del ajo.

Evaluar el efecto de la plata en la producción del ajo así como en el efecto que tiene en la calidad nutricional de los bulbos.

1.2 Hipótesis

Las aplicaciones de sulfato de plata afectan de manera heterogénea la producción y calidad de los órganos de interés comercial.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo

2.1.1 Origen

Su nombre botánico *Allium Sativum* que procede de la palabra celta all, que significa caliente o ardiente y sativum, término latino que significa cultivado. Esta planta es originaria de Asia Central, desde allí se extendió hacia el Este hasta alcanzar la china y hacia el Oeste en dirección a Europa. El comercio europeo facilitó su distribución, lo que hizo del ajo un condimento básico en muchos alimentos. Los españoles introdujeron el ajo en el continente americano a finales del siglo XIX (Cardona y González, 2007).

2.1.2 Clasificación taxonómica

El ajo es una planta monocotiledónea, perteneciente al orden *Liliflora* El ajo común *Allium sativum* L., pertenece a la familia de las *Alliaceas* para la taxonomía moderna. Perteneció a la Subfamilia *Allioideae* al género *Allium* y sp: *sativum* (Mansilla, 2004).

2.1.3 Descripción del cultivo

El ajo ($2n = 16$ cromosomas) es una especie perenne que se cultiva como anual, debido a que los clones cultivados no producen semillas (Falconi, 2011). Las Raíces son fasciculadas, blancas, de 0.1 a 0.5 mm de diámetro, que llegan a profundizar hasta 40-50 cm con facilidad (ANAISA, 2013).

El ajo presenta un tallo blando y liso de unos 40 cm de altura, que asoma por el centro de las hojas. Se trata de un tallo hueco y rollizo. De él van saliendo las hojas, de forma alargada y plana, que se van estructurando a lo largo del tallo de forma alternada. Al final de éste aparecen las flores de color rosado o verde que se agrupan en umbelas (Catalán, *et al.*, 2013). El verdadero tallo mide cerca de 30 milímetros de diámetro y 5 milímetros de altura y tiene forma de plato, del cual nacen las hojas y raíces, las hojas miden de uno a tres centímetros y de 20 a 50 centímetros de largo, están formadas por una vaina y un limbo aplanado, estrecho, largo y fistuloso, con una nervadura central bien desarrollada y con terminación en punta. En la base de las vainas de las hojas

no se acumulan sustancias nutritivas y al morir se convierten en túnicas protectoras (catáfilas) (Reveles, *et al.*, 2009).

El bulbo llamado cabeza de ajo, está formado por las yemas axilares de las hojas, desarrolladas y transformadas en órganos de reserva. Cada yema origina un diente de ajo. La planta produce además de los bulbos que conforman la cabeza, otros bulbillos subterráneos pegados a la cabeza, que son también órganos de multiplicación (Mansilla, 2004).

El número de dientes puede variar desde seis hasta 20 en la mayoría de los casos, aunque se llegan a encontrar bulbos con 40 o más dientes, como es el caso de algunos materiales criollos de los estados de San Luis Potosí o Nuevo León (Reveles, *et al.*, 2009). El número de dientes por bulbo es un parámetro para la comercialización de este producto, ya que en el mercado de exportación no se aceptan bulbos con más 15 dientes (Valenzuela, *et al.*, 2008).

La planta de ajo puede producir un tallo o escapo floral en cuya parte superior aparece la inflorescencia en forma de umbela (Kemper, 2000). De acuerdo con (ANAISA, 2013) la umbela está formada por un número de flores que oscila entre 80 y más de 200, con pedicelos de 2 a 4 cm de largo, tomando el conjunto una forma esférica de unos 5 a 9 cm de diámetro. Según (Terán, 2006) las flores están formadas por seis pétalos de color violáceo, rojizo o rosado, seis estambres y un pistilo plurilocular que termina en un estigma filiforme.

2.2 Fisiología del desarrollo

La cabeza de ajo está formada por los dientes que, una vez plantados en condiciones adecuadas, darán lugar a nuevas plantas (Falconi, 2011).

Un diente de ajo está constituido por un resto de tallo, una hoja protectora que lo envuelve y una hoja transformada en almacén de reservas nutritivas, en cuyo interior, en la base del diente donde se encuentra el resto de tallo, se halla la yema terminal que dará lugar a la nueva planta (FDA, 2005).

2.2.1 Brotación

Terán (2007), expresa que pasados unos meses (entre 3 y 5 según tipo de ajo y condiciones de conservación de la semilla), en el diente, incluso sin plantar, se inicia la actividad de la yema terminal, alargándose en dirección a la punta, al ápice del diente. (Rahim, y Fordham, 2001), establecen que, la emergencia de los brotes están controlada mayormente por la temperatura, en ausencia de dormancia, mientras que la iniciación del bulbo es promovida por la exposición previa de los “bulbillos” a frío, el fotoperiodo y la temperatura de crecimiento.

2.2.2 Crecimiento vegetativo

Después de la brotación se van desarrollando las raíces y las hojas de la planta que servirán para transformar las extracciones nutritivas del suelo en tejidos vegetales. Este periodo termina cuando comienza la formación del bulbo. El crecimiento vegetativo se desarrolla en un espacio de tiempo variable, alrededor de 100 a 150 días según las condiciones de conservación de la semilla y las técnicas de cultivo que se apliquen, característico para cada variedad o ecotipo y muy directamente influido por las condiciones de fotoperiodo, temperatura y humedad (Rueda, 2011). (Sidoti, H. Y Caucota, D., 2010) mencionan que el comienzo de la bulbificación se produce cuando se alcanzan unas condiciones determinadas de temperatura, humedad y fotoperiodo, aplicando técnicas de cultivo convencionales, definidas para cada variedad y ecotipo en un área geográfica determinada. Puede modificarse sometiendo la semilla a condiciones especiales de temperatura o fotoperiodo.

2.2.3 Floración

En condiciones normales de cultivo, las variedades y ecotipos morados (o rojos), chino, gigantes y otros producen tallo floral y flores, generalmente estériles. Las variedades y ecotipos blancos y rosas no desarrollan tallo floral, en condiciones normales de cultivo (Falconi, 2013).

2.2.4 Maduración

La maduración de los bulbos o cabeza del ajo, se termina principalmente cuando la planta está con las hojas secas, salvo las dos o tres más jóvenes (las superiores), en este momento se llega a la maduración de la cabeza del ajo,

que se podrá sacar unos días después. Adelantar en exceso el momento de la recolección, produce disminución de cosecha y pérdida de calidad (Rueda, 2011).

2.3 Requerimientos edafoclimáticos

De acuerdo con Cardona y González (2007) indican que el cultivo del ajo requiere un clima templado, soporta temperaturas más bajas que la cebolla, y durante la formación la formación del bulbo las temperaturas requeridas van de 0 a 10 grados centígrados, requiere humedad relativa del 60-70 %. Monades (2009), menciona que es importante que los suelos tengan un buen drenaje y un buen contenido de materia orgánica.

Prefiere los suelos francos o algo arcillosos, con contenidos moderados de cal y ricos en potasio, el pH óptimo del suelo está entre 5.5 a 6.6 y requiere buenas cantidades de fertilizantes, el manejo inadecuado del nitrógeno produce acebollamiento de la planta (Cardona y González, 2007).

El cero vegetativo del ajo corresponde a 0°C. A partir de esta temperatura se inicia el desarrollo vegetativo de la planta. Hasta que la planta tiene 2-3 hojas soporta bien las bajas temperaturas. Para conseguir un desarrollo vegetativo vigoroso es necesario que las temperaturas nocturnas permanezcan por debajo de 16 °C (PROCAL II, 2010).

2.4. Importancia del cultivo

La producción mundial de ajos y el comercio internacional han venido experimentando un sostenido aumento, como consecuencia del cambio de los hábitos de consumo hacia una alimentación más saludable y del reconocimiento de sus propiedades terapéuticas, como las de prevenir el cáncer, entre otras (Monades, 2009).

2.4.1 Producción mundial

La producción mundial de ajo se destacó por presentar una tendencia al alza en la década pasada. En el año 2008 se cultivó la mayor superficie y se obtuvo la mayor producción de ajo de la última década, llegándose a 1.407.498 hectáreas y 22.799.883 toneladas de ajo a nivel mundial. Sin embargo, la

mayor variación tuvo lugar entre los años 2006 y 2007, cuando la superficie presentó un aumento de 11%, con un alza de 31% en la producción, lo que fue posible por los mejores rendimientos obtenidos en el año 2008 ($15,4 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, 18% más que en 2006) (FAOSTAD, 2010).

En la figura 1 se puede observar una progresiva disminución de la brecha entre superficie y producción, como consecuencia de un mejoramiento importante de los rendimientos a lo largo de la década, llegando a su máximo de $16,7 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el año 2009. Es importante destacar la evolución del cultivo del ajo entre los años 2001 y 2010, cuando se presentaron variaciones al alza de la superficie cosechada (9%) y los rendimientos (42%), lo que dio como resultado un aumento de 54% en la producción (ODEPA, 2012).

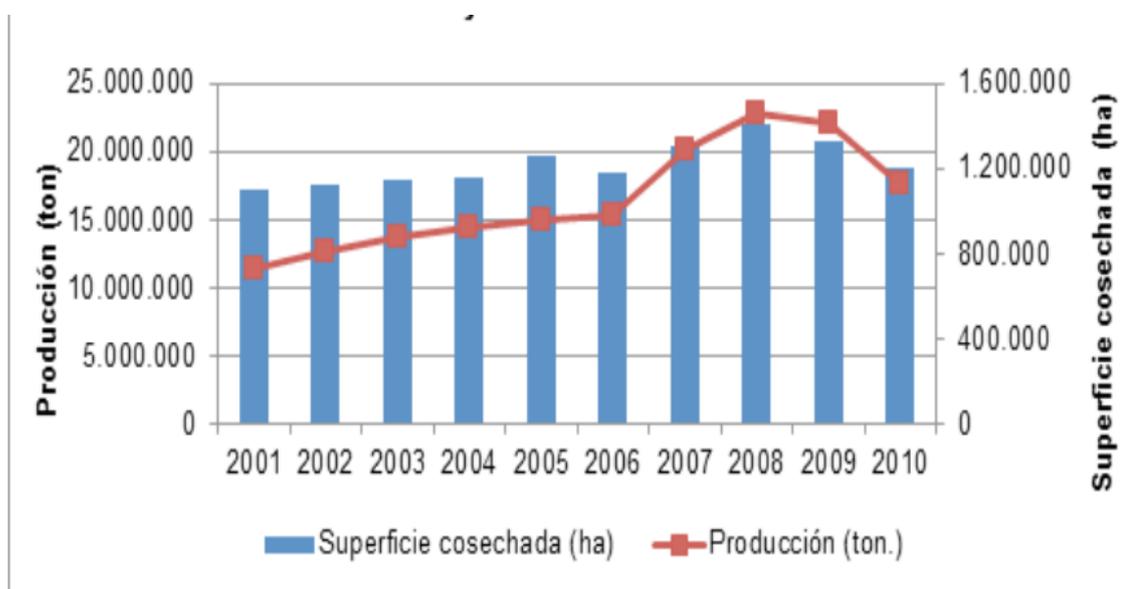


Figura 1. Evolución de la superficie cosechada y producción de ajos a nivel mundial.

Los principales países productores son, en su mayoría, países asiáticos que son consumidores tradicionales: China, India, Corea y Tailandia. Éstos, junto a otros 12 países, entre los cuales se encuentran España, EE.UU., Brasil, Argentina, Chile y Perú concentran el 90% de la superficie cultivada a nivel mundial (ODEPA, 2012).

El comercio internacional de ajos frescos es muy dinámico y en los últimos años muchos países exportadores han aumentado drásticamente su nivel de

exportaciones. La mayor proporción de la superficie dedicada al cultivo del ajo se concentra en los países asiáticos, principalmente China, que en el año 2010 alcanzó el 55% de la superficie cosechada y un 77% de la producción (Jacqueline, 2010).

La superficie cosechada y la producción mundial se concentra principalmente en su mayoría en países asiáticos que son consumidores tradicionales: China, India, Corea y Tailandia. Éstos, junto a otros 12 países, entre los cuales se encuentran España, EE.UU., Brasil, Argentina, Chile y Perú concentran el 90% de la superficie cultivada a nivel mundial (Monades, 2009)

2.4.2 Producción nacional

En México, la cadena agroalimentaria del sistema producto ajo tiene gran importancia social y económica por los empleos e ingresos económicos que genera en la producción, industrialización, transporte y comercialización de la hortaliza. Se estima que tan solo en el proceso de producción el cultivo ocupa 225 jornales por hectárea, que representan alrededor de 1 millón 350 mil jornales en las 6,000 has. Cultivadas en promedio a nivel nacional. Por otra parte, el cultivo para este 2012 representa una oportunidad para los productores debido a la apertura del mercado internacional; sin embargo, para que México tenga mayor ventaja respecto a otros países exportadores, es necesario aumentar los niveles de productividad y calidad mediante la adopción de innovaciones tecnológicas derivadas de la investigación y de programa de Reducción de Riesgos de Contaminación en las unidades de producción y empaques. (SAGARPA, 2012).

En México, los estados productores más importantes son: Zacatecas, Guanajuato, Baja California, Sonora, Aguascalientes y Puebla; en conjunto, estas entidades producen cerca del 88% del total nacional. El consumo per cápita¹ anual de Ajo en México es de aproximadamente 460 gramos (González, 2013). La superficie sembrada a nivel nacional en el 2012 fue de 5451.90 ha, con una producción de 54,015.27 Ton (SIAP, 2013).

2.4.3 Propiedades nutricionales

El olor y sabor característicos de ajo explican su uso como saborizante en las comidas, pero otro uso, quizás más antiguo, ha sido como medicina. Esto debido a sus reconocidos efectos farmacológicos, algunos de los cuales, como su poder bactericida, su acción anticoagulante y anticolesterol, y sus efectos benéficos en el tratamiento de asma, cáncer y diabetes y otros, han sido comprobados en los últimos años por diversos estudios científicos. Por todas estas razones, el ajo no sólo es consumido fresco sino también deshidratado, como sal de ajo, como salsa, etc., y como píldoras, extractos y cápsulas que contienen alicina y otros compuestos activos (López, 2007).

El análisis de la composición química de la parte comestible del ajo arroja una riqueza importante en hidratos de carbono (cerca del 30%) y proteínas (aproximadamente el 6%), su riqueza mineral está constituida por potasio, fósforo, magnesio, zinc, yodo, y dentro del contenido vitamínico se destacan las vitaminas del grupo B, como la B1, B3, B6 y con cantidades pequeñas de vitamina C y E. Además están contenidas sales de selenio, azúcares, lípidos, saponosidos, terpenos, enzimas, flavonoides y otros compuestos fenólicos. Sin embargo el contenido energético y nutritivo es marginal, ya se consume en muy baja cantidad (Aguilera *et al.*, 2002)

El bulbo de ajo contiene un aminoácido llamado alina que, de hecho, es inodoro y no contiene propiedades antibacterianas. Sin embargo, cuando el bulbo del ajo es machacado o molido, la alina entra en contacto con una enzima (alinasa) que convierte la alina en alicina. La alicina es la responsable del olor característico del ajo y es un potente agente antibacteriano (SAGARPA, 2012).

El ajo fresco, los extractos de ajo, el aceite y la oleoresina han sido generalmente reconocidos como seguros cuando se consumen en cantidades comúnmente encontrados en la comida. El ajo ha sido usado para fines medicinales en estudios clínicos que han durado hasta cuatro años sin reportes de toxicidad significativa. Es posiblemente inseguro cuando se consume en grandes cantidades, como lo señala el libro de seguridad de la Asociación Botánica Americana de Productos Herbolarios, que apunta que altas dosis pueden ser peligrosas o aun fatales para niños. Sin embargo,

no hay casos reportados de reacciones adversas significativas o mortalidad en niños asociada con la ingestión de ajo (SAGARPA, 2012).

2.4.4 Parámetros de calidad

Los indicadores de calidad son muy variables, uno de los más importantes es la firmeza, que está directamente relacionada con el contenido de agua. En el ajo se requiere de una perfecta cicatrización en las heridas para evitar deshidratación del producto y penetración de microorganismos (Yahia, 1992).

Actualmente en México el consumidor está confundido con las diferentes etiquetas existentes en el mercado pues al ser la norma mexicana de calidad para el ajo de carácter voluntario y mientras la Norma Oficial Mexicana de etiquetado de carácter obligatorio no solicita información de calidad del producto, en el mercado mexicano no existe una estandarización para presentar información sobre calidades, tamaños, colores, origen, etc., mismo que confunde a los consumidores (Sidoti y Caucota, 2010).

2.4.4.1 Requisitos mínimos de calidad para los bulbos de ajo

La calidad depende de las características del bulbo, tales como el contenido de materia seca y de carbohidratos. Una alta cantidad de materia seca se considera muy importante para la capacidad de almacenaje de los bulbos y se ha indicado que la proporción de fructosanos u otros polisacáridos pueden correlacionar esta capacidad (Benkeblia *et al.*, 2005).

Al tratar los índices de calidad, Cantwell (2006) considera que los ajos con alta calidad deben estar limpios, con el color claramente determinado de acuerdo con la variedad y bien curados, tanto de las catáfilas como del cuello, además de tener alto peso seco y con contenido de sólidos solubles superiores a 35%.

2.4.4.2 Clasificación

Los bulbos se clasifican en tres categorías, de acuerdo con el COMITÉ DEL CODEX SOBRE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS, (2008). Según se definen a continuación:

Categoría “Extra” Los bulbos de esta categoría deberán ser de calidad superior y característica de la variedad y/o tipo comercial. No deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase. Además deberán: ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño, estar intactos, ser de forma regular, estar correctamente limpios, tener los dientes compactos.

Categoría I: Los bulbos de esta categoría deberán ser de buena calidad y característicos de la variedad y/o tipo comercial. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase: leves rajaduras en la piel, dientes razonablemente compactos. Además, deberán, ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño, estar intactos, ser de forma bastante regular. En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa de los bulbos.

Categoría II. Esta categoría comprende los bulbos que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando los bulbos conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación y presentación:

Leves rajaduras en la piel externa o partes perdidas de la piel externa del bulbo, daños cicatrizados, leves marcas, forma irregular, hasta 3 dientes faltantes.

2.4.5 Factores que influyen en el sabor

En los extractos de ajo, el tipo y concentración de sustancias extraídas, depende de factores como; grado de madurez del ajo, prácticas de producción y cultivo, localización de la planta y condiciones de procesamiento. Así, las propiedades biológicas y las características físico-químicas pueden variar de acuerdo a condiciones de pH (la aliinasa se inactiva en pH ácido), el almacenamiento tiene influencias sobre el incremento de compuestos azufrados, por la posible formación de S-alk(en)il-L-cisteína sulfóxidos a partir

de precursores con g-glutámico. En general los compuestos azufrados generan una gran cantidad de reacciones químicas características, las cuales producen muchos de los efectos metabólicos (Cardona y González, 2008).

2.4.5.2 Luminosidad

(Brewster, 2003), manifiesta que, los incrementos en la producción están asociados al mayor índice de área foliar, ya que amplían los niveles de radiación fotosintéticamente activa interceptada y absorción de nutrientes. Por otra parte (Rahim y Fordham, 2007), indican que la tasa de producción de materia seca está correlacionada con la radiación interceptada, la cual está fuertemente afectada por el área foliar, además la intensidad de luz con longitudes de onda dentro de la porción biológicamente activa (430-730 nm) pueden ser un factor determinante en la inducción fotoperiódica ya que determina la producción de área foliar al influir sobre la división y elongación celular

2.4.5.3. El genotipo

El genotipo controla la absorción y la asimilación del azufre para la conformación del sabor (Randle, 2000; Huchette, *et al.*, 2007). La regulación genética implica muchos pasos y transformaciones de este elemento mineral antes de formar el precursor característico, y cada uno de esos eventos está controlado por una enzima llamada Alinasa, la cual es producto de la acción del genoma de la planta (Reseman, *et al.*, 2001).

2.5 Usos del ajo

El ajo, debido a sus propiedades, alimenticias y digestivas, tienen numerosas aplicaciones, culinarias, tanto en crudo como frito. Son también numerosas aplicaciones en medicina (Bayan, 2014).

2.5.1 Usos en la alimentación

Son innumerables las posibilidades del uso del ajo en la cocina. Contrariamente a lo que se puede pensar, su sabor y aroma no predominan necesariamente en los platos donde es utilizado. En la cocina china, junto con

el jengibre son los aromas más importantes; usado en la cocina indiana y en la occidental, agrega un gusto a todos los tipos de carnes, pescados y verduras. Es esencial en la cocina mexicana y en la cocina de la América Meridional, es un ingrediente fundamental también en la cocina francesa, donde encontramos la mantequilla y la mayonesa al ajo (mantequilla que se sirve con los caracoles) y la sopa de ajo (Falconi, 2011).

El ajo es el condimento perfecto para la carne de cordero, carnero y cabrito. Se usa para hacer asados de carne, en potajes y platos de legumbres. Cuanto más tiempo hierve, su sabor es más suave. Por otra parte, si el ajo se quema, amarga. El ajo es el ingrediente principal de muchos platos de la cocina (Fundación EROSKI, 2014).

2.5.2 Usos en la salud humana

A lo largo de la historia, muchas culturas diferentes han reconocido el potencial del uso de ajo para la prevención y el tratamiento de diferentes enfermedades. Estudios recientes apoyan los efectos de ajo y sus extractos en una amplia gama de aplicaciones. Estos estudios plantearon la posibilidad de reactivación de los valores terapéuticos del ajo en diferentes enfermedades. Los diferentes compuestos en el ajo se cree que reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, tienen antitumoral y antimicrobianas, y muestra beneficio en la concentración de glucosa en sangre. Sin embargo, el mecanismo exacto de todos los ingredientes y sus efectos a largo plazo no se entienden completamente (Bayan, 2014).

Por su contenido en compuestos ricos en azufre, es uno de los mejores remedios naturales para combatir procesos infecciosos del aparato respiratorio (gripe, bronquitis, faringitis, etc.), digestivo (putrefacciones intestinales, diarrea, etc...) o excretor (infecciones renales, cistitis, etc.). Especialmente indicado para calmar la tos de origen bacteriano con funciones de expectorante. Por sus propiedades bactericidas, resulta especialmente indicado cuando el dolor de oídos responde a un infección interna del oído medio (Falconi, 2011).

2.5.3 Usos en la protección de cultivos

Su uso para proteger las plantas tanto de plagas como enfermedades sigue investigándose en diversos cultivos ya que debido a su alta solubilidad en agua se facilita su empleo con fines agrícolas, favoreciendo la producción orgánica de alimentos (Reveles-Hernández *et al.*, 2009).

El ajo por lo general se cultiva para la alimentación humana pero también puede ser usado en la protección vegetal como insecticida, fungicida y antibacterial. Tanto los bulbos como las hojas contienen sustancias activas que se pueden extraer con agua, o el aceite con una prensa, y aplicarlas en los cultivos. (Brechelt, 2004)

- Controla: larvas de lepidópteros, áfidos, chinches pequeños y varias enfermedades causadas por hongos.
- Preparación: se muelen 2 libras del bulbo y se mezcla con 20 cucharitas de jabón en 1 galón de agua. Después de 4 horas se cuela para la aplicación.
- Aplicación: de la solución se mezcla 1 litro con 20 litros de agua y se aplica con una bomba de mochila por lo menos cada 6 a 8 días.

Para fabricar productos formulados se utilizan especies que tienen un alto contenido de las sustancias activas y se cultiva este tipo especialmente con el propósito de sacar el aceite para ser formulado (Brechelt, 2004).

Además, en las secreciones de las raíces del ajo se han descubierto sustancias fitocidas que protegen otras plantas contra algunas enfermedades, como son: el tizón tardío en la papa y la bacteriosis en el repollo (IICA, 2006).

2.6 Principales componentes del ajo

Desde 1884 hasta la fecha se han descubiertos más de 200 sustancias componentes del ajo, algunas de estas sustancias se les atribuyen efectos biológicos benéficos para los humanos.

El ajo es una de las hortalizas que posee un gran número de compuestos que ayudan a prevenir y aliviar una gran cantidad de enfermedades, dentro de los compuestos que pese se encuentran, los compuestos fenólicos principalmente la allixina lo cual actúan como antioxidantes, anti inflamatorios antivirales y

antibacteriana, también tiene adenosina que actúa como vasodilatador, hipotensor, miorelajante y estimula la síntesis de hormonas esteroideas. Otras de las propiedades son los polisacáridos (Fructanos) que actúan como cardioprotectores, antioxidantes y estimula el sistema inmunológico, la quercitina tiene efectos contra el asma y algunas alergias, las saponinas es una sustancia hipotensora y antibacteriana, dentro de los compuestos azufrados del ajo se encuentran Aliína, Ajoeno (ajocisteína) que es Hipotensora hipoglucemiante además previene la formación de coágulos, sirve como anti-inflamatorio, vasodilatador, hipotensor, antibiótico. Otros de los compuestos que posee el ajo son la alicina y alilitiosulfinitos, mercaptanos que son antibióticos, antifúngicos, antivirales y previenen la aterosclerosis, el sulfuro de dialilo es un anticancerígeno y previene los daños químicos del DNA, otros compuestos como la S-alil-cisteína y compuestos alil – Glutámico actúan como antioxidantes, quimioprotectores frente al cáncer. Además Favorecen la acción desintoxicante del hígado frente a sustancias químicas (García y Sánchez, 2000).

2.6.1 Compuestos orgánicos

El ajo se compone principalmente de agua 56-68% en peso, seguido por carbohidratos 26-30%. Los componentes con propiedades nutraceuticas, son los compuestos sulfurados (11-35 mg/100g de ajo fresco). Otros componentes son las vitaminas (ácido ascórbico, 30mg/100g peso fresco; vitamina E, 9.4 µg/g) y minerales como el selenio (0.014 mg/100g) (Lawson, 1993).

2.6.2 Compuestos organosulfurados

Los compuestos sulfurados (azufrados) han sido considerados la clave de los beneficios para la salud (Alonso, 2007).

De entre todos los grupos de compuestos presentes en el bulbo de ajo, destacan los derivados azufrados, la mayoría de ellos solubles en agua, representando mayoritariamente en el ajo fresco por la aliína (sulfóxido de S-alil-cisteína), que constituye el principal sustrato para la enzima aliínasa (activa a pH 4-5,8). (Navarro, 2007).

El ajo contiene numerosos componentes activos, de entre los que destacan sus compuestos azufrados. Si el bulbo está intacto y fresco, el componente mayoritario identificado es la aliína o sulfóxido de S-alil-cisteína (aminoácido azufrado). La aliína es una sustancia inodora e inestable, pero, además de ésta, en el bulbo intacto se encuentran otros compuestos azufrados solubles en medio acuoso, como son los sulfóxidos S-metil-L-cisteína y S-propenil-S-cisteína, S-glutación, g-glutamyl-S-alil cisteína, y g-glutamyl-S-alil-mercapto-L-cisteína (López, 2007).

Es de notar que la mayoría de los compuestos azufrados del ajo no se encuentran como en las células intactas, sino que se generan a partir de varios de los componentes azufrados que se liberan cuando el ajo es cortado, partido o macerado. La gran cantidad de reacciones químicas de unos componentes con otros, generan así mismo una variedad amplia de sustancias; entre estas reacciones se encuentran la formación de diferentes tiosulfatos y compuestos derivados, relacionados con el ácido sulfónico a partir de la reacción entre la enzima aliínasa y precursores volátiles (S-alquenilcisteinasulfóxido y ácido sulfónico). La descomposición de sulfatos puede ocurrir por diferentes vías metabólicas, una de las cuales combina dos moléculas de alicina por formar tres moléculas de ajoeno. Por medio de degradaciones no enzimáticas se producen otros compuestos azufrados como los tiosulfatos, mono, di, tri y tetrasulfuros, tioles, tiofenos y anhídridos sulfurosos, a partir de tiosulfatos. (Cardona y Gonzáles, 2008).

2.6.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son un amplio grupo de sustancias con diferentes estructuras químicas y actividad, son constituyentes importantes de las plantas y que a su vez les otorga múltiples efectos benéficos (Muñoz y Ramos, 2007). Dentro de los compuesto fenólicos de los bulbos se encuentre la quercetina que es el flavonoide más abundante, y es el que presenta mayor actividad antioxidante (Torija, *et al.*, 2013). Este compuesto tiene la capacidad de reducir los procesos inflamatorios agudos y crónicos, algunos de ellos asociados con la obesidad y la diabetes (Muñoz, *et al.*, 2010). Algunos compuestos bioactivos

como la quercetina pueden estimular la lipólisis o apoptosis en los adipocitos disminuyendo el contenido de grasa corporal (Muñoz, *et al.*, 2010).

2.7 Principales antioxidantes del ajo

Fructosanas (75%), aceite esencial (garlicina, aliína o sulfóxido de alilcisteína que hidrolizada por la aliinasa produce alicina, responsable del característico olor del ajo, que rápidamente se transforma en disulfuro de alilo), pequeñas cantidades de vitaminas (A, B1, B2, B6, C), adenosina y sales minerales (hierro, sílice, azufre, yodo) (SAGARPA, 2012).

El ajo no sólo es importante por el uso culinario, sino también por su valor nutricional y medicinal. Este en estado verde contiene sólido, azúcares, proteínas crudas, celulosas, cenizas y vitaminas etc. En los bulbos maduros contiene aceite esencial y en estado seco contiene insulina, la cual es desdoblada por el organismo en fructosa (Cardona y González, 2008).

También, es portador de una sustancia bacteriana denominada fitocida, la cual detiene el desarrollo de las bacterias que causan la tuberculosis, disentería, difteria, cólera y otras enfermedades. Se usa en tratamientos preventivos de la alta presión arterial, arteriosclerosis, catarros, asma y para enfermedades causadas por parásitos intestinales, es expectorante, vermífugo, tónico para los pulmones (IICA, 2006).

2.7.1 Flavonoides

Los flavonoides son pigmentos naturales presentes en los vegetales y que protegen al organismo del daño producido por agentes oxidantes, como los rayos ultravioletas, la polución ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos, etc. El organismo humano no puede producir estas sustancias químicas protectoras, por lo que deben obtenerse mediante la alimentación o en forma de suplementos (Martínez *et al.*, 2002).

Aunque los hábitos alimenticios son muy diversos en el mundo, el valor medio de ingesta de flavonoides se estima como 23 mg/día, siendo la quercetina el predominante con un valor medio de 16 mg/día. En un principio, fueron

consideradas sustancias sin acción beneficiosa para la salud humana, pero más tarde se demostraron múltiples efectos positivos debido a su acción antioxidante y secuestradora de radicales libres. Los flavonoides contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante. Por ello, desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo y tienen efectos terapéuticos en un elevado número de patologías, incluyendo la cardiopatía isquémica, la aterosclerosis o el cáncer. En los últimos años los patrones de consumo de ajo alrededor del mundo han sido afectados por el creciente interés de los consumidores hacia variedades menos pungentes que al mismo tiempo posean propiedades benéficas que contribuyan al mejoramiento de su salud (Soto y Galmarini, 2012).

Además de sus conocidos efectos antioxidantes, los flavonoides presentan otras propiedades que incluyen la estimulación de las comunicaciones a través de las uniones en hendidura, el impacto sobre la regulación del crecimiento celular y la inducción de enzimas de detoxificación tales como las monooxigenasas dependientes de citocromo P-450, entre otras¹¹ (Pérez, 2003).

2.7.2 Alicinas

La alicina, de fórmula molecular $C_6H_{10}OS_2$ y peso molecular de 162.27 g/mol, es un líquido amarillo de densidad 1.112 g/ml e índice de refracción a 20%; su pH está cerca de 6.5, tiene solubilidad en agua a 10 °C de alrededor de 2.5% m/m, también es soluble en alcohol, éter y en benceno. Presenta inestabilidad en álcali caliente pero es estable en ácidos (López, 2007).

La alicina es un compuesto oxidante producido por el ajo crudo cuando sus células se rompen por la acción de un corte o triturado, permitiendo la interacción de las enzimas aliínasa la cual cataliza la conversión de aliína en alicina, en contacto con el aire y pH superior a 3 la reacción se completa de 0.2 a 0.5 minutos después de haber iniciado (Guapulema, 2013).

Para el caso del ajo deshidratado, a pesar de que la aliína y la enzima aliínasa sufren el proceso de secado aún se conserva el potencial de formación de alicina cuando entran en contacto con el agua (Galaz, 2008).

En seguida la alicina experimenta degradación en forma rápida, permitiendo la formación de nuevos compuestos sulfurados tales como sulfuro de dialílico, disulfuro de dialilo y trisulfuro de dialilo. Asimismo, en presencia de calor, la alicina puede transformarse en ajoeno y viniloditiinas (Galaz, 2008).

Entre las propiedades nutracéuticas atribuidas a este compuesto, destacan su acción antitrombótica, hipotensora, antimicrobiana, antifúngica, anticarcinogénica, antitumorogénica e inmunomoduladora (López, 2007).

2.7.3 El ajo como antioxidante

Los antioxidantes son sustancias que disminuyen significativamente los efectos adversos de las especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno sobre las funciones fisiológicas normales en seres humanos. Evidencias epidemiológicas y clínicas indican una asociación entre dietas ricas en frutas y verduras y la disminución en el riesgo de morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y otras enfermedades degenerativas. La actividad antioxidante de las Alliaceas ha sido atribuida a los compuestos polifenólicos y organoazufrados. Los polifenoles en las plantas de este género están presentes principalmente en esta especie como glucósidos de quercetina y campferol. Si bien en ajo fresco no se han hallado cantidades detectables de quercetina o campferol, se ha encontrado actividad antioxidante en extractos de ajo. Por otro lado, se ha demostrado la capacidad antioxidante tanto de los compuestos organoazufrados como de sus precursores, los S-alquenil-L-cisteína sulfóxidos (ACSOs). Además numerosos estudios han reportado que el diallil sulfuro (DAS), diallil disulfuro (DADS), diallil trisulfuro (DATS), allil cisteína y allicina juegan un importante rol en este efecto biológico a través de diversos mecanismos (Soto y Galmarini, 2012).

En numerosas investigaciones realizadas *in vitro* e *in vivo* (en animales) se ha demostrado que el ajo fresco y muchos de sus preparados poseen efecto antioxidante. Se ha visto que son eficaces para inhibir la formación de radicales libres, refuerzan el mecanismo de captación de radicales endógenos,

aumentan las enzimas antioxidantes celulares (p. ej., la superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa), protegen las lipoproteínas de baja densidad de la oxidación por los radicales libres e inhiben la activación del factor nuclear Kappa B (factor de transcripción inducido por oxidantes) (Borek, 2013).

2.7.4 Efecto sobre los radicales libres

Estudios epidemiológicos y ensayos realizados en animales han demostrado que el consumo de ajo ejerce un efecto protector que reduce la incidencia de determinados tipos de cánceres, como el gástrico, colorrectal, de mama, cervical, etc. El efecto anticancerígeno parece deberse a diversos mecanismos, como ser captador de radicales libres, incrementar los valores de glutatión, incrementar o modular la actividad de enzimas como glutatión-S-transferasa, catalasa, mecanismos de reparación de ADN, prevención del daño cromosómico (López, 2007).

El ajo es rico en antioxidantes, que ayudan a destruir los radicales libres - las partículas que pueden dañar las membranas celulares y el ADN, y pueden contribuir al proceso de envejecimiento, así como el desarrollo de una serie de condiciones, incluyendo enfermedades cardíacas y el cáncer. Los antioxidantes neutralizan los radicales libres y reducir o incluso ayudar a prevenir algunos de los daños que causan en el tiempo (Herrington, 2013).

2.7.5 Importancia de la vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico es un importante antioxidante hidrosoluble que actúa potenciando el efecto de otros antioxidantes tal como sucede con la vitamina E y el selenio. No se sintetiza en el organismo, por lo que debe ser aportada por la dieta. Sus principales funciones son neutralizar el oxígeno singlete (O_2), capturar radicales hidróxilos y aniones superóxido y regenerar la forma oxidada de vitamina E una vez que ha reaccionado con un RL. Actúa de forma sinérgica con la vitamina E, y se ha comprobado que se absorbe mejor si se encuentra en una formulación que contenga vitamina E. Algunos estudios muestran una clara participación de la vitamina C como antioxidante sobre el endotelio vascular evitando la oxidación del óxido nítrico, potenciando su actividad y aumentando su síntesis (Dabrowska, 2009).

La vitamina C es un antioxidante hidrosoluble con un alto poder reductor. Actúa como cofactor para numerosas enzimas implicadas en la biosíntesis de colágeno, carnitina y algunos neurotransmisores, y puede atrapar una gran variedad de especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno en medios acuosos. La vitamina C se considera esencial, ya que no puede ser sintetizada por humanos (Ramírez y Quiles, 2007).

Esta vitamina se halla muy extendida en la naturaleza, pero se encuentra principalmente en los alimentos de origen vegetal, en los que aparecen de manera natural bajo dos formas químicas interconvertibles: ácido ascórbico (forma reducida) y ácido dehidroascórbico, ambas formas poseen similar acción biológica. Esta vitamina ha sido y es objeto de numerosas investigaciones, se la considera involucrada en la curación y prevención de enfermedades tales como el escorbuto o el resfriado común, y actualmente se la relaciona con otras enfermedades como el cáncer, la aterosclerosis, enfermedades inmunológicas etc. (Ramírez y Quiles, 2007).

Algunos estudios muestran una clara participación de la vitamina C como antioxidante sobre el endotelio vascular evitando la oxidación del óxido nítrico, potenciando su actividad y aumentando su síntesis. Otros estudios sugieren una disminución de la peroxidación lipídica en presencia de vitamina C. Por ambas razones parece demostrado su papel beneficioso en la aparición y progresión de la aterosclerosis (Dabrowska, 2009).

2.8 Generalidades de la plata

La plata es un elemento bastante escaso. Algunas veces se encuentra en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales. Sin embargo, la mayor parte de las veces se encuentra en minerales que contienen compuestos de plata. Los principales minerales de plata son la argentita, la cerargirita o cuerno de plata y varios minerales en los cuales el sulfuro de plata está combinado con los sulfuros de otros metales. Aproximadamente tres cuartas partes de la plata producida son un subproducto de la extracción de otros minerales, sobre todo de cobre y de plomo (Luo *et al*, 2005).

La plata pura es un metal moderadamente suave (2.5-3 en la escala de dureza de Mohs), de color blanco, un poco más duro que el oro. Cuando se pule adquiere un lustre brillante y refleja el 95% de la luz que incide sobre ella. Su densidad es 10.5 veces la del agua. La calidad de la plata, su pureza, se expresa como partes de plata pura por cada 1000 partes del metal total. La plata comercial tiene una pureza del 999 (ley 0.999) (Narayanan y Sakthivel, 2008).

La plata es un potente antibiótico natural usado por millares de años. Las propiedades de la plata ya eran conocidas en los tiempos de la antigua Grecia. Se había notado que en las familias en que se comía utilizando utensilios de plata, se enfermaba difícilmente y las infecciones eran raras (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ag.htm>). Este conocimiento se ha transmitido entre reyes, Emperadores, Zares, Sultanes, entre sus familiares y entre los miembros del corte. Se comía sobre plano de plata, se bebía con copas de plata, se utilizaban cubiertos de plata, la comida era conservada en contenedores de plata y, con el tiempo, pequeñas cantidades de plata se mezclaron a las comidas. Estos linajes reales eran llamados “sangre azul” por el característico tinte azulado de la sangre debida a las huellas mínimas de plata pura. La gente común de sangre roja, en cambio comía en utensilios de terracota utilizando utensilios de hierro y se enfermaban a menudo mientras los reales no eran sometidos a enfermedades infectivas (Becker, 2002).

2.8.1 Riesgos de la plata

Las sales solubles de plata, especialmente el nitrato de plata (AgNO_3), son letales en concentraciones de hasta 2 g. Los compuestos de plata pueden ser absorbidos lentamente por los tejidos corporales, con la consecuente pigmentación azulada o negruzca de la piel (argiria). Peligros de la ingestión: Moderadamente tóxico. Puede causar molestias estomacales, náuseas, vómitos, diarrea y narcosis. Si el material se traga y es aspirado en los pulmones o si se produce el vómito, puede causar neumonitis química, que puede ser mortal (Rai *et al*, 2008)

2.8.2 Usos y funciones del sulfato de plata

La información sobre la biogeoquímica de plata (Ag) es escasa y los mecanismos de absorción de Ag por las plantas aún no están claros. Se estudió el efecto de sulfato de plata (Ag_2SO_4) y nitrato de plata (AgNO_3) en la biomasa de las plántulas de trigo, las proteínas de la rizosfera y la absorción de nutrientes y oligoelementos. La mayor parte de Ag se acumuló en las raíces. Ambos tratamientos (Ag_2SO_4 y AgNO_3) afectaron la biomasa de las plántulas. La biomasa se redujo más después del tratamiento con AgNO_3 . Tanto Ag_2SO_4 y AgNO_3 reducen las concentraciones foliares de sodio y concentraciones de bario y profundas de calcio. Con el tiempo (tres días), la concentración de proteína en la rizosfera de plantas de control y las plantas tratadas con AgNO_3 aumentó, mientras que el tratamiento con Ag_2SO_4 reduce la concentración de las proteínas de la rizosfera (Shtangeeva, 2011)

El sulfato de plata ha sido identificado como un efectivo inhibidor de etileno y ha logrado prolongar la conservación *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta*) por 18 meses (Mafla *et al*, 2000)

Las plantas responden a la presencia de metales pesados por medio de mecanismos como la quelación y el secuestro de metales pesados por compuestos entre los que tenemos a las fitoquelatinas, las metalotianinas, los aminoácidos, así como los ácidos orgánicos que son secretados por la raíz hacia el medio exterior con la finalidad de solubilizar los elementos tóxicos presentes, absorberlos y posteriormente acumularlos en sus tejidos (Cobbett y Goldsbrough, 2002; Clemens, 2001), (Cabrera De la Fuente *et al.*, 2010)

Un trabajo realizado con sulfato de plata en el cultivo de lulo o conocido en México como chinchilegua (*Solanum quitoense Lam*) ha mostrado hasta el momento un efecto benéfico permitiendo reducir el crecimiento; se evaluará posteriormente la viabilidad y la estabilidad genética de las plantas. Y en el cultivo de tomate de árbol no se ha observado ventajas con los medios evaluados; se hace necesario realizar ajustes en las concentraciones utilizadas. (Mafla *et al.*, 2003).

Prakash y Gopalakrishnan (2014), estudiaron el efecto de las nanopartículas de plata y los iones de plata en *Arabidopsis thaliana* en el cual investigaron en niveles fisiológicos y moleculares. Las plántulas se hicieron crecer en concentraciones subletales de las nanopartículas de plata y los iones de plata (0,2, 0,5, y 1 mg/l) en un cuarto medio de Hoagland durante 14 días bajo condiciones sumergidas hidropónicas. Se observaron significativamente mayor reducción en el total de clorofila y el aumento en el contenido de antocianina después de la exposición a las nanopartículas de plata 0,5 y 1 mg/L, en comparación con concentraciones similares de iones de plata. La peroxidación de lípidos aumentó significativamente después de la exposición a 0,2, 0,5 y 1 mg·L⁻¹ de nanopartículas de plata y 0,5 y 1 mg·L⁻¹ de iones de plata.

Hirsh (2009), llevo a cabo tres estudios en invernadero para evaluar la disponibilidad de plata en lodos transmitidos a una variedad de cultivos agrícolas. No hubo diferencias en el número medio de días hasta la emergencia o el porcentaje de emergencia de plántulas crecidas en suelos enriquecidos con fangos que contienen sulfuro de plata o plántulas crecidas en suelos enmendados con plata cargada de lodo residual activado. El crecimiento y los rendimientos de maíz, de avena, y plantas de nabo no se vieron afectados por la presencia de sulfuro de plata en los suelos de lodos-modificado en concentraciones tan altas como 106 mg kg Ag en el suelo. Los pesos secos de las plantas de col china cultivadas en los suelos de lodos-modificada que contienen sulfuro de plata en concentraciones de ≥ 14 mg kg:Ag fueron significativamente menos que los controles. Los rendimientos de lechuga, avena, nabo, y plantas de soja cultivadas en suelos enmendados con el sulfuro de plata fueron significativamente mayores que los de los controles. En la madurez, se analizaron tejidos seleccionados de cada especie para la plata. Con la excepción de lechuga, no hubo diferencias significativas en las concentraciones de plata de los tejidos comestibles de los cultivos que crecen en suelos que contienen sulfuro de plata en comparación con los controles. Los resultados de estos estudios indican que los suelos con fangos que contienen sulfuro de plata no es probable que afecten negativamente al crecimiento de

los cultivos, y la acumulación de niveles bajos de la plata puede ocurrir en las hojas de las plantas de lechuga cultivadas en suelos que contienen plata.

Las propiedades anti-etileno de tiosulfato de plata (STS) son revisados. Debido a la especificidad de los iones de plata en STS, componentes sensibles y no sensibles de etileno se pueden distinguir en los estudios sobre los efectos del etileno en el crecimiento y desarrollo de la planta. La capacidad de STS para evitar el marchitamiento de las flores de corte y caída de pétalos de plantas con flores en macetas, y para inducir transformaciones sexuales en plantas femeninas, junto con su relativa facilidad de aplicación y bajo costo por planta, son argumentos a favor del uso de STS en la horticultura comercial (Veen, 2007).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica del trabajo de investigación

Para la realización del trabajo se establecieron dos parcelas experimentales en distintos ambientes.

Ambiente 1: Se estableció en el estado de Guanajuato en el municipio de Santa Cruz de Juventino Rosas, cuyas coordenadas son: latitud 20° 36' 6.06" N y longitud 101° 1' 29.40" O. La altitud de este lugar es de 1734 msnm. La temperatura varía, de 16° a 18 °C en lo templado subhúmedo, y de 18° a 20 °C en lo semicálido, que es la temperatura que predomina; la temperatura mínima es en enero con 5.9 °C, la media en diciembre, con 15.2 °C y la máxima en mayo, con 31.9 °C, la temperatura media anual es de 18.8 °C (<http://www.juventinorosas.gob.mx/>).

Ambiente 2: Se estableció en Saltillo, Coahuila. En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área de prácticas del departamento de horticultura, cuyas coordenadas son: latitud de 25° 21' 23.55" N y longitud 101° 2' 5.16" O. La altitud del lugar es de 1763 msnm. Con una temperatura media anual de 20.7 °C, la temperatura máxima media anual es de 29 °C y la temperatura mínima media anual es de 10.5 °C (www.tutiempo.net/clima/Saltillo).

3.2 Material genético

La semilla utilizada en el experimento, son semillas de ajo morado de la variedad Tacátzcuaro.

Es una variedad de ajo jaspeado de porte alto cuya altura de planta es de 95 cm aproximadamente, con hojas anchas de color verde alimonado. Los bulbos son de tamaño grande (± 7.5 cm de diámetro) correspondiente a la categoría de exportación COLOSAL; produce de 1 a 20 dientes por bulbo con una media de 12.5; su ciclo de vegetativo es de 190 días de la siembra a la cosecha y su rendimiento comercial es de $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.3 Siembra

La siembra se realizó el 8 de Octubre de 2012 en ambas localidades, se hicieron camas de 1 m de ancho y se sembró a dos hileras, de esta manera se tenía una densidad de población de $28 \text{ plantas} \cdot \text{m}^2$. Las semillas fueron colocadas a una profundidad de 4-5 cm para tener buena germinación.

3.4 Manejo del cultivo

3.4.1 Riego

Ambiente 1

En el ambiente uno el riego fue rodado, el cual se efectuaba cada dos semanas de acuerdo a las condiciones climáticas, donde el agua que se aportaba era aproximadamente $2200 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Con esta cantidad de agua es suficiente para mantener el desarrollo correcto de las plantas.

Ambiente 2

En este ambiente el riego se realizaba a través de un sistema de riego por goteo, en donde se tenía una cintilla con emisores cada 20 cm. Los riegos por lo general se realizaban 2 veces por semana con una duración de 2.5-3 horas según estuviera la humedad en el suelo.

3.4.2 Fertilización

3.4.2.1 Macroelementos

La nutrición del cultivo fue basada en una fórmula establecida en lo cual se detalla en el Cuadro 1, la cual se completó en 4 aplicaciones: fertilización base, crecimiento vegetativo, formación del bulbo y maduración del bulbo.

Cuadro 1. Aplicación de Nutrientes (kg.ha⁻¹) por Etapas.

	N	P₂O₅	K₂O	Ca	Mg	S
Fertilización Base	50	100	100	-	40	50
Crecimiento Vegetativo	100	-	90	-	-	10
Formación De bulbo	80	-	80	60	-	-
Maduración De bulbo	20	-	-	60	-	-
Total	250	100	270	120	40	60

Fertilizantes aplicados.

Sulfato de amonio 21-00-00+24S

Fosfato diamónico 18-46-00

Sulfato de potasio 00-00-52+18S

Fosfonitrato 33-03-00

Nitrato de potasio 14-00-45

Nitrato de calcio 15-00-00-22Ca

Sulfato de magnesio 00-00-00+22S+ 16mg

3.4.2.2 Microelementos

En el caso de los microelementos se aplicó Aton AZ foliarmente a una dosis de 50 ml en 20 L de agua, las aplicaciones se realizaron con intervalos de 2 semanas durante todo el ciclo.

Composición de Aton AZ:

Aminoácidos libres 5.5% p/p (6.6% p/v)

Calcio (Ca) 1.15% p/p (1.38% p/v)

Zinc (Zn) 1.08% p/p (1.29% p/v)

Hierro (Fe-EDTA) 0.90% p/p (1.08% p/v)

Manganeso (Mn) 0.60% p/p (0.72% p/v)

Boro (B) 0.90% p/p (0.10% p/v)

Molibdeno (Mo) 0.076% p/p (0.09% p/v)

3.4.3 Control de malezas

El control de malezas se hizo de forma manual con azadones, en el mes de octubre fue en el que hubo mayor incidencia de malezas por lo que esta labor se realizaba cada dos semanas para tener buen control y evitar competencia con el cultivo, a partir del segundo mes se realizaba cada tres o cuatro semanas. Con esta actividad también ayudamos a dar oxígeno a las raíces debido a la remoción del suelo.

3.4.4 Control de plagas

La principal plaga que insidó en el cultivo fue el trips (*Thrips tabaci* Lindaman) en los primeros meses del cultivo, y se estuvo controlando con el insecticida Movento 150 OD a una dosis de 0.5 L/ha. Con el uso de este producto se obtuvo un buen control de la plaga.

3.4.5 Control de enfermedades

En cuanto a las enfermedades presentes en el cultivo, la que se presentó con mayor incidencia fue la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*) en la etapa de bulbificación donde estuvieron las condiciones óptimas para el desarrollo del hongo. El fungicida utilizado para controlar el hongo fue Folicur 250 EW a una dosis de 1 L·ha⁻¹, con intervalos de 7 días entre aplicaciones.

3.5 Aplicación del Sulfato de Plata

Para las aplicaciones del Ag₂SO₄ primero se procedió a pesar las dosis según el tratamiento en una balanza analítica de la marca OHAUS, y se guardó en sobres oscuros para evitar la oxidación del producto. Al momento de la aplicación se tomaba el sobre correspondiente al tratamiento y se diluía en 1 L de agua, después se hacían las aplicaciones correspondientes foliarmente hasta que las plantas quedaran cubiertas de la solución preparada.

3.6 Tratamientos Evaluados

En el experimento se evaluaron 6 tratamientos a distintas concentraciones de sulfato de plata (Cuadro 2), para ambos ambientes se aplicaron los mismos tratamientos.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de Ag₂SO₄ aplicados al ajo.

Tratamientos	Concentración de Ag ₂ SO ₄ (mg·L ⁻¹)
1 (testigo)	0
2	30
3	60
3	90
5	120
6	150

3.7 Diseño experimental

El diseño que se utilizó en el experimento fue de bloques al azar, con 6 tratamientos y cada uno con 20 repeticiones.

3.8 Variables evaluadas

3.8.1 Peso de bulbos

Para determinar esta variable se tomaron los bulbos de cada tratamiento y se pesaron en una balanza analítica de la marca OHAUS, cada bulbo se colocó en el platillo de la balanza y se tomó el dato correspondiente.

3.8.2 Diámetro Polar del Bulbo

Para obtener esta variable se utilizó un vernier manual, después se midió de la base del tallo a la base donde comienza el pseudotallo en cada bulbo de los tratamientos.

3.8.3 Diámetro Ecuatorial del Bulbo

Para esta variable se ocupó un vernier manual, donde se midió el diámetro de los bulbos de forma ecuatorial para cada tratamiento.

3.8.4 Número de Bulbillos

En esta variable se requiere tener los bulbos maduros, donde están todos los dientes bien formados, después se separaron todos los dientes de los bulbos y se contaron en cada tratamiento.

3.8.6 Firmeza de Bulbos

Esta variable se calculó con penetrómetro profesional se seleccionaron tres frutos por tratamiento y posteriormente se equipó el penetrómetro con un pistón adecuado de (11 mm), posteriormente se tomaron los frutos de cada tratamiento y se procedió a tomar la firmeza de cada bulbo y los datos obtenidos se reportaron en kilogramos.

3.8.7 °Brix

Para calcular esta variable se ocupó un refractómetro de la marca Atago, primero se extrajo el jugo de los dientes, posteriormente se colocó una gota grande del jugo para que cubriera el sensor del aparato y se tomó la lectura correspondiente.

3.8.8 Potencial Redox

El potencial Redox se midió con ayuda de un potenciómetro marca Hanna, para esto se utilizó bulbos de cada tratamiento, cada bulbo se colocó dentro de una bolsa de plástico, posteriormente se trituró en un mortero pero sin sacarlo de la bolsita para evitar su contaminación, finalmente se introdujo el sensor del potenciómetro al ajo triturado y se tomó la lectura de cada tratamiento

3.8.9 Vitamina C

Cuantificación de ácido ascórbico. Se determinó mediante cromatografía de líquidos, usando las condiciones cromatográficas siguientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Condiciones de trabajo del cromatógrafo de líquidos para la cuantificación de vitamina C de ajo tratado con Ag_2SO_4 .

Fase Móvil	NaH_2PO_4 50 mM pH 2.8
Longitud de onda	230 nm
Flujo	1.0 mL/ min
Fase estacionaria	Aquasil C-18
Temperatura	60 °C
Tiempo de corrida	22 min

Extracción.

La extracción se realizó pesando cerca de 200 mg de tejido congelado y macerado. Posteriormente se le agregaron 1.5 mL de la mezcla agua:acetona 1:1. Se mezcla bien en un Vortex por 30 segundos, se centrifuga a 12000 rpm a 4 °C y finalmente se extrae el sobrenadante. Este se filtró con un filtro de pirinola de 0.4 μ y fue inyectado en el cromatógrafo de líquidos Thermo Spectra

System P400, el cual cuenta con bomba cuaternaria, detector de UV, de inyección manual.

3.9 Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó usando el programa SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System) bajo el modelo de bloques al azar, posteriormente se realizó la comparación de medias, empleando la prueba de promedios de Duncan.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Peso de Bulbos

Al evaluar esta variable se observa estadísticamente que si existe diferencia significativa para los dos ambientes en donde T1 ($0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) muestra una mayor respuesta en el peso de los bulbos teniendo en el ambiente 1 (Gto.) un peso de 112.83 g y en el ambiente 2 (Saltillo) se obtuvo un peso de 92.69 g en el T1. En cuanto a los ambientes se observa en la **(Figura 2)**. Que el ambiente 1 (Gto) fue el que obtuvo un mayor peso de bulbos en todos los tratamientos.

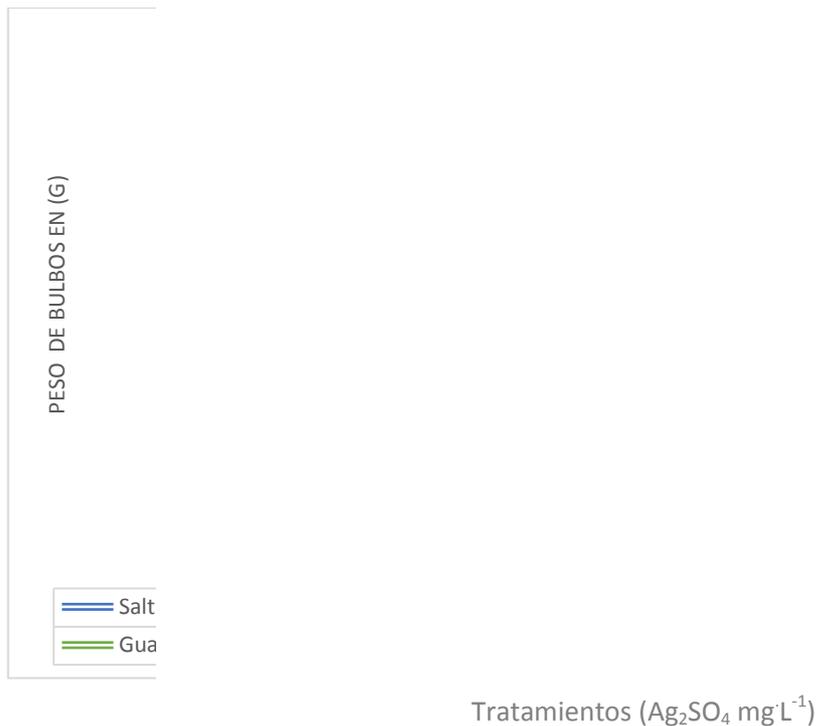


Figura 2. Peso de bulbos de ajo tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicado vía foliar.

Estos resultados concuerdan con Valcho y Niels (2006), quienes mencionan que en plantas de *Mentha* cultivados en suelos contaminados con metales pesados en donde disminuyó los rendimientos de forraje fresco por 9.16% en comparación con el control. Krishnaraj (2012), menciona que los iones de plata liberados pueden inducir efectos adversos en plantas, se ha demostrado que puede restringir la activación de etileno, la hormona de la planta, e inhibir la fotosíntesis debido al cierre estomático y por ende se reduce la acumulación de biomasa afectando de esta manera el rendimiento final de los cultivos.

4.2 Diámetro Polar

De acuerdo a los resultados obtenidos para la variable de diámetro polar (**Figura 3**) muestran que en el ambiente 1 (Gto) no hubo significancia entre los tratamientos. En el ambiente 2 (Saltillo) se obtuvo diferencia significativa obteniendo la mejor respuesta el tratamiento 4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) con un diámetro polar de 4.8 cm, en comparación con el testigo y los demás tratamientos. En cuanto a los ambientes se puede apreciar que no hubo diferencia.

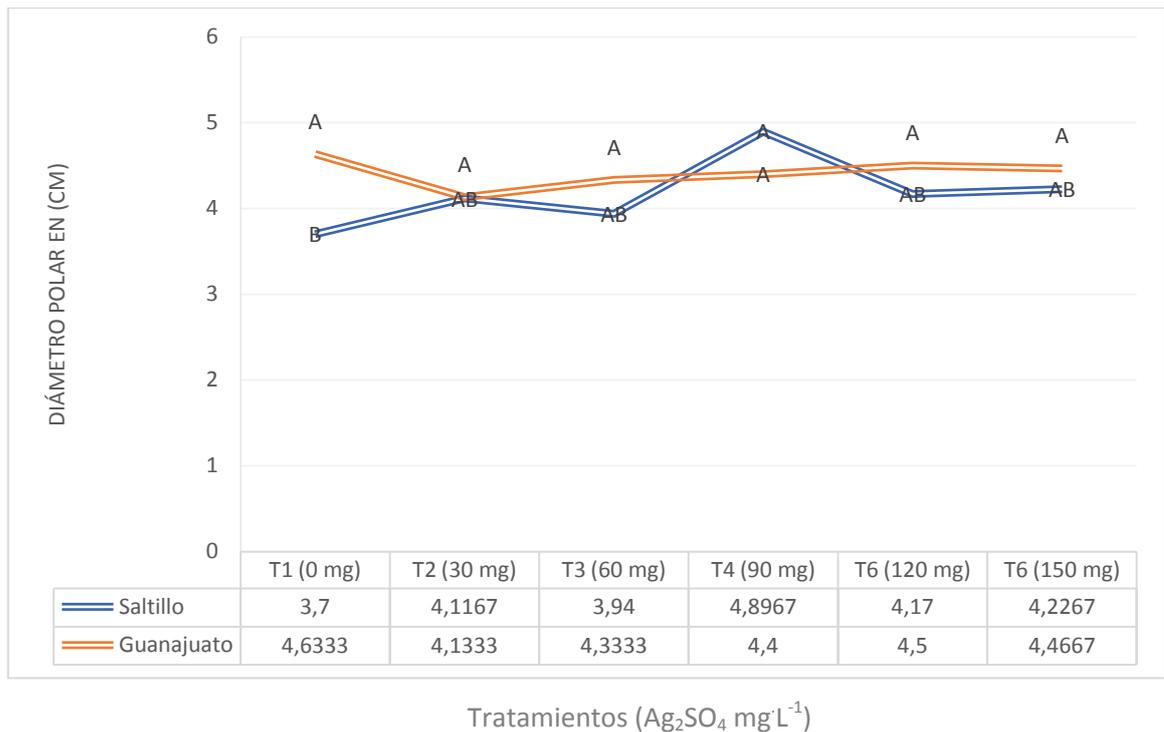
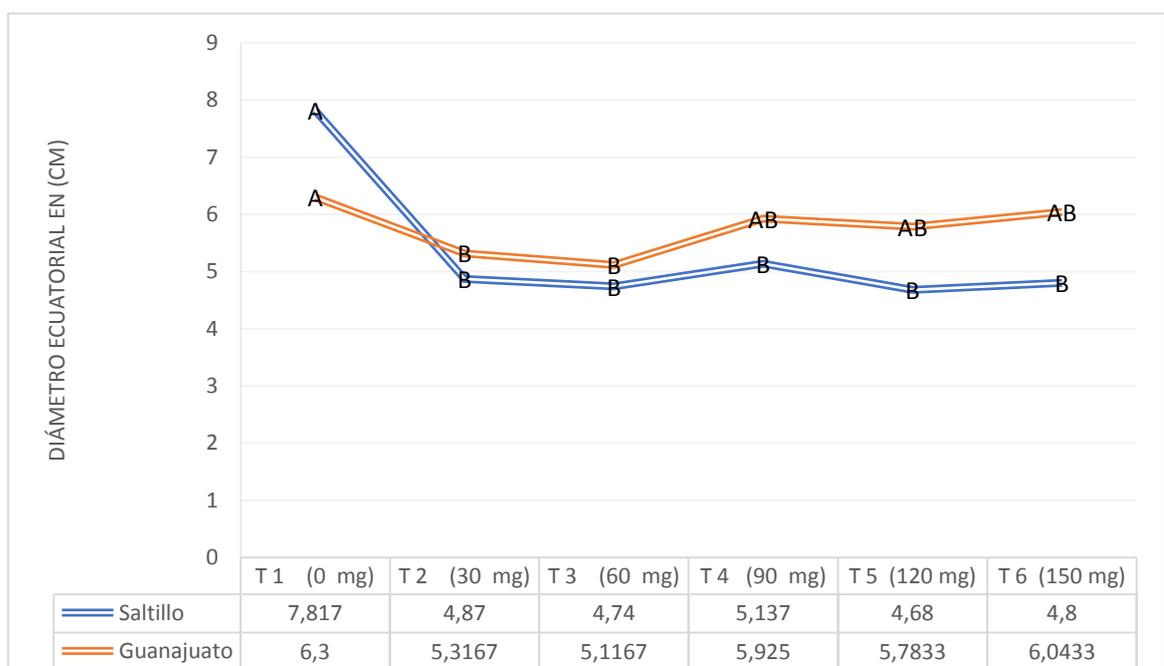


Figura 3. Diámetro Polar de bulbos de ajo tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4), a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

Las plantas experimentan estrés oxidativo tras la exposición a metales pesados que conduce a daño celular. Además, las plantas acumulan iones metálicos que perturban la tasa de crecimiento y productividad como consecuencia de las alteraciones del metabolismo celular (Yadav, 2010).

4.3 Diámetro Ecuatorial

Para la variable de diámetro ecuatorial se muestra que si hay diferencia significativa en ambos ambientes, mostrando un mayor diámetro el T1 ($0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$



de Ag_2SO_4). En la localidad 1 (Gto) se obtuvo en el testigo un diámetro ecuatorial de 6.3 mientras en el ambiente 2 (Saltillo) el testigo obtuvo un diámetro de 7.8 lo cual fue superior a los que se les aplicó el complejo. En cuanto a los ambientes se observa que al aplicar el Ag_2SO_4 la localidad 1 muestra una mejor respuesta en comparación al ambiente 2.

Figura 4. Diámetro Ecuatorial de bulbos de ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

De acuerdo con Macías (2010) la variedad de ajo Tacatzcuaro el diámetro promedio del bulbo es de 5.1. (Briat, 2002) menciona que los metales pesados, en el interior de los tejidos vegetales pueden producir moléculas muy reactivas, denominadas especies reactivas de oxígeno que atacan a lípidos, proteínas y ADN, provocando así estrés oxidativo y con ello el crecimiento de las plantas.

4.4 Número de Bulbillos

Tratamientos (Ag_2SO_4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico se muestra que no existe diferencia significativa para los dos ambientes, más sin embargo en ambos ambientes el T1 ($0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) fue el que obtuvo un mayor número de bulbillos. En cuanto a la comparación de ambientes se aprecia que en el ambiente 1 (Gto) obtuvo mayor número de bulbillos que en el ambiente 1 (Saltillo) (**Figura 5**).

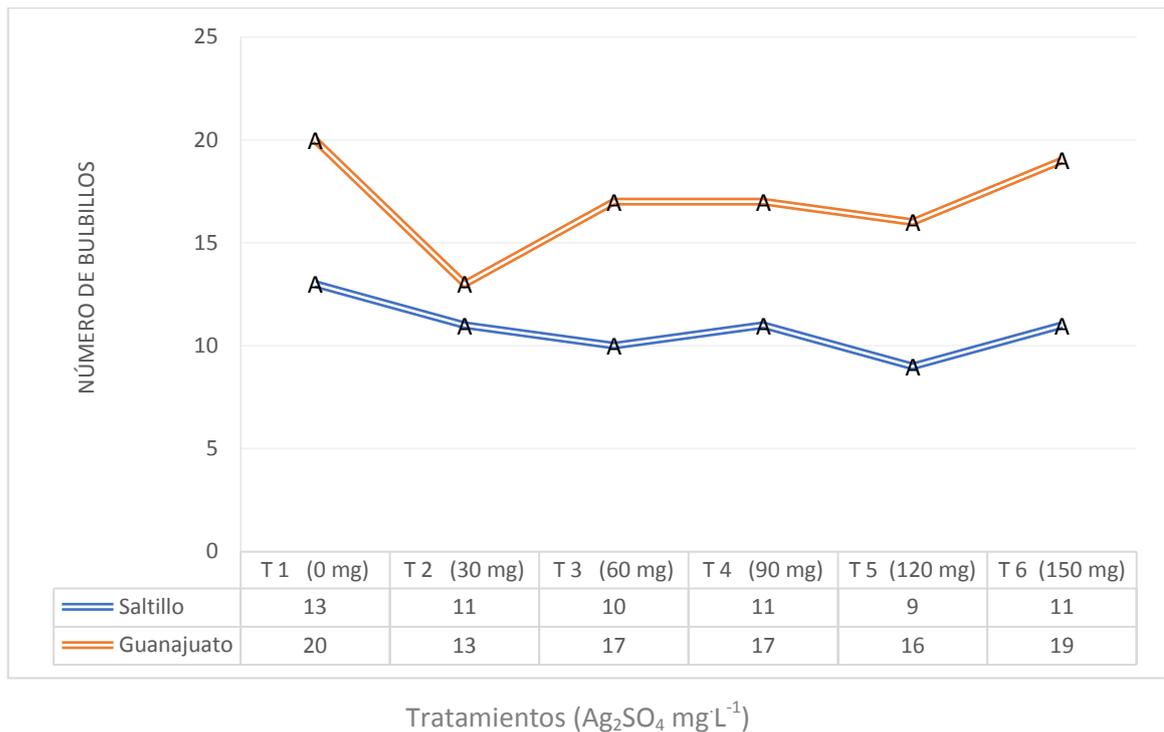


Figura 5. Número de bulbillos por bulbo del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

El incremento del número de bulbos en las plantas de ajo puede ser influenciado por diversos factores como el clima y el estrés sometido debido a las concentraciones de Ag^+ en el metabolismo de las plantas ya que un exceso de este metal en la planta puede llegar a ser tóxico y debido a esto se puede alterar el metabolismo perturbando el desarrollo del cultivo (Nadina, *et al.* 2007).

4.5 Firmeza de Bulbos

De acuerdo con los resultados arrojados con el análisis de varianza para la variable de firmeza de los bulbos de ajo se obtuvo que no hay diferencia significativa entre los tratamientos y el testigo en los dos ambientes.

Pero se puede observar en la **Figura 6** para el ambiente 1 (Gto) en el T4 (120 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) fue en donde los bulbos tuvieron mayor firmeza con 10.7 kg, en comparación con los demás tratamientos. Para el ambiente 2 (Saltillo) el T6 (150 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) fue el que obtuvo mayor firmeza 10.4 kg en comparación con los demás tratamientos. En cuanto a los ambientes se obtuvo que el comportamiento para esta variable fue similar en ambos.

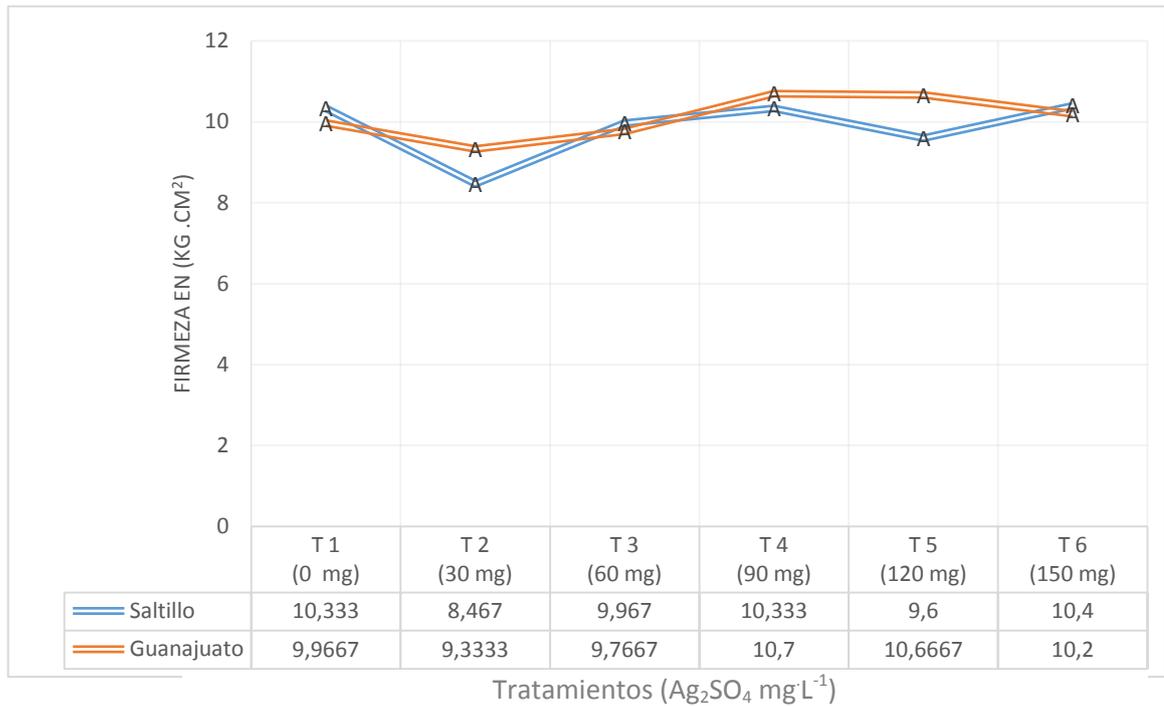


Figura 6. Firmeza de bulbos de ajo, tratados con sulfato de plata (Ag₂SO₄), a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

La absorción de metales fitotóxicos por las plantas resultan en la inhibición de varias enzimas que desempeñan un papel significativo en el estrés del metabolismo lo que afecta el correcto desarrollo de las plantas, en el cual está la acumulación de materia seca que a su vez incide en la rigidez de las plantas debido a la acumulación de biomasa (Van y Clijsters, 2006). Una firmeza que va de 9 a 13 kg·cm² es un importante factor para la calidad de los bulbos de ajo (Kemper, 2000).

4.6 Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Los resultados obtenidos para la variable de Sólidos Solubles Totales (°Brix). Se puede apreciar en la **Figura 7** que en el ambiente 1 (Gto) el que obtuvo una mayor cantidad de °Brix fue el T4 (90 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) con 32 °Brix con

diferencia de los demás tratamientos, mientras tanto en la localidad 2 (Saltillo) se obtuvo un mejor resultado en el T3 ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) con 20.56°Brix . Sin embargo el ambiente 1 (Guanajuato) mostro mejores resultados que el ambiente 2 (Saltillo).

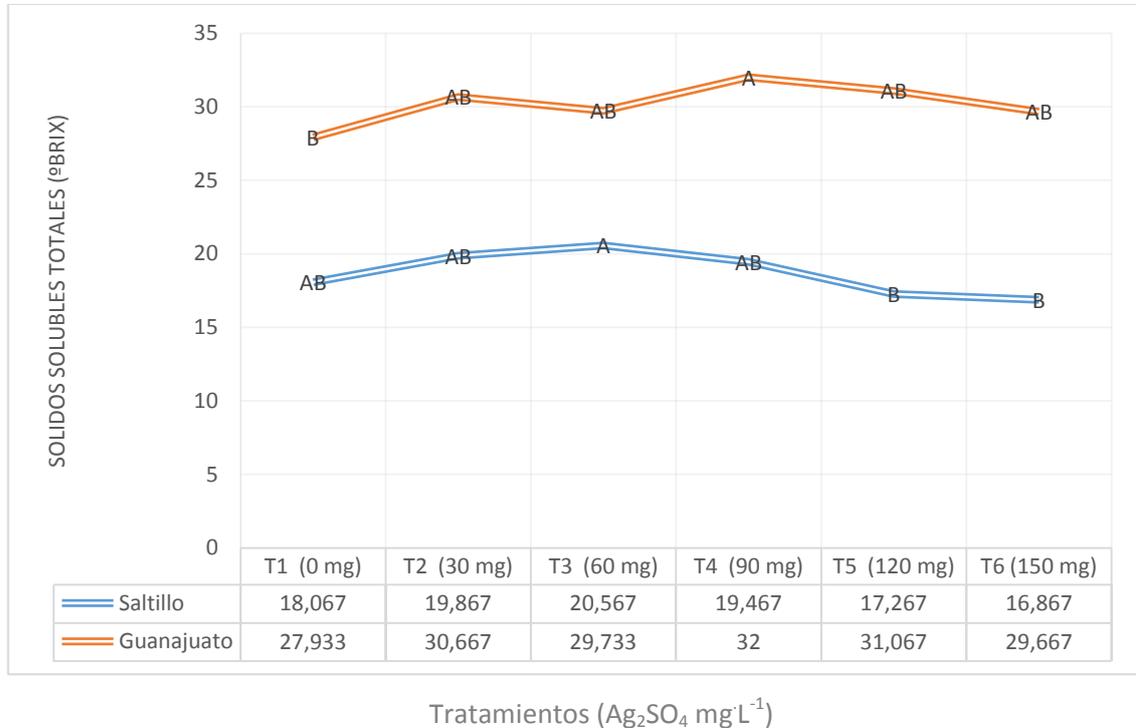


Figura 7. Solidos Solubles Totales ($^\circ\text{Brix}$) del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag_2SO_4) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

Hall, (2002), menciona que los cambios en la reducción del crecimiento de la planta, tanto la parte aérea como de la raíz, la reducción en el número de hojas y del área foliar, reducción en la producción de semillas y biomasa, necrosis o marchitamiento de hojas. Estos cambios en el aspecto general de la planta responden a cambios metabólicos y/o estructurales inducidos por los metales pesados.

4.7 Potencial Redox

Para la variable de potencial redox, de acuerdo con los resultados estadísticos obtenidos se muestra que si hay diferencia significativa entre los tratamientos con respecto a los testigos en los dos ambientes, en el ambiente 1 el T4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) fue el que obtuvo el mejor resultado con un potencial

antioxidante de -90 mV, mientras tanto para el ambiente 2 (Saltillo) el mejor tratamiento fue el T3 (90 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) con -86.66 mV, comparando los ambientes el ambiente 1 presento un mayor potencial de antioxidante.

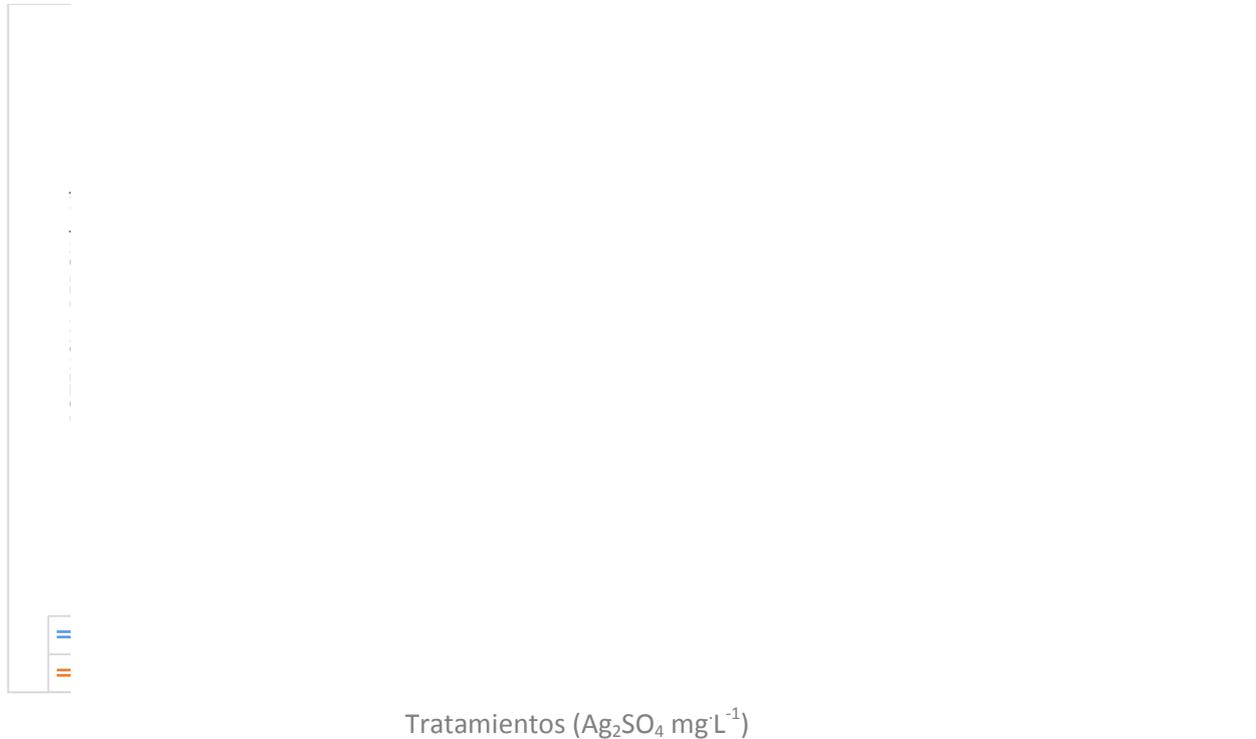


Figura 8. Potencial redox del cultivo del ajo, tratados con sulfato de plata (Ag₂SO₄) a cinco diferentes concentraciones aplicados vía foliar.

El uso de pequeñas cantidades de elementos traza como el selenio, la plata, etc. que al ser absorbidos por la planta, desencadenan una respuesta oxidativa que, a su vez, se traduce en un incremento en la cantidad total de antioxidantes en las plantas (Cabrera De la Fuente, *et al.*, 2006; Rosales-Velázquez, *et al.*, 2006).

4.8 Vitamina C (ácido ascórbico)

Los resultados para el ambiente 1 (Gto) mostraron que no hay diferencia significativa entre tratamientos, pero el T3 (90 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) fue el que tuvo una mayor concentración con 2.64 mg·g de tejido. En el ambiente 2 (Saltillo) el T1 (0 mg·L⁻¹ de Ag₂SO₄) fue el que obtuvo la mayor concentración con 6.3 mg·g de tejido comparando los ambientes; el ambiente 2 (Saltillo) fue el que tuvo mayor concentración que el ambiente 1 (Gto).

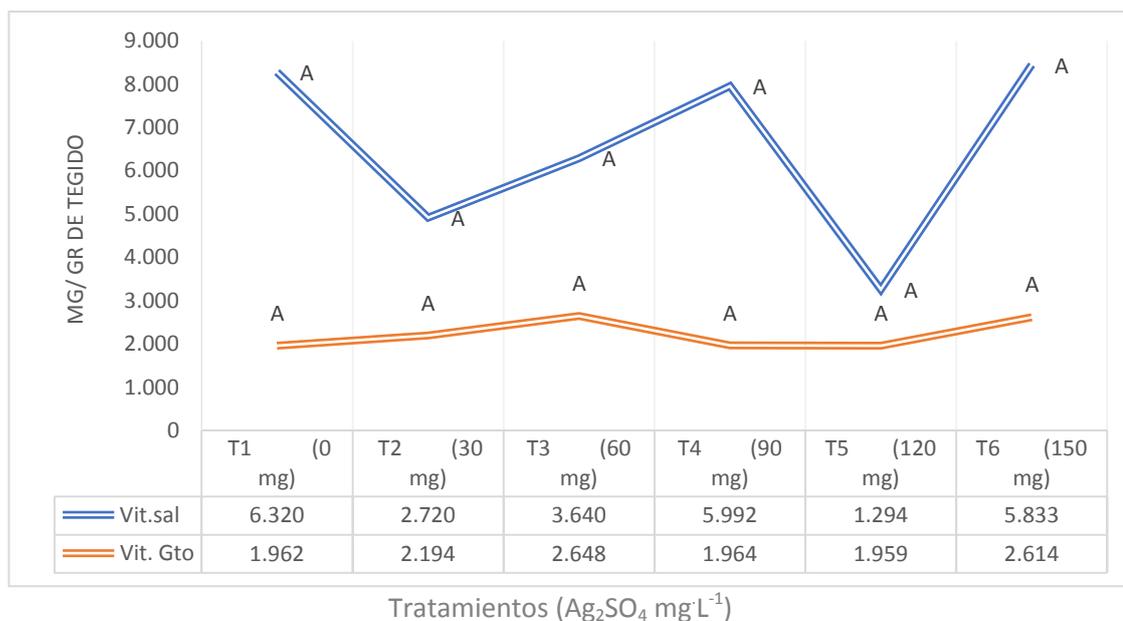


Figura 9. Contenido de vitamina C en los bulbos de ajo, tratados con aplicaciones foliares de sulfato de plata (Ag₂SO₄).

Las raíces pueden secuestrar metales y prevenir o reducir la translocación a las hojas, los cambios en la química foliar pueden ser influenciados por otros factores ambientales tales como la disponibilidad de agua, pH, redox o la salinidad (Manomita, *et al.*, 2005). Trabajos recientes señalan que el contenido de vitamina C en el cultivo de ajo es de 9.00-18.00 mg·g de ajo fresco, con un promedio de 14.00 mg·g de ajo fresco (García y Sánchez, 2009).

V.- CONCLUSIONES

- La aplicación foliar del sulfato de plata en el cultivo de ajo, tiene efecto en el potencial redox para los dos ambientes, en el ambiente 1 (Gto) el tratamiento 4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) presento un mayor potencial antioxidante de -90 mV , mientras que en el ambiente 2 (Saltillo) el T3 ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) mostro un potencial de antioxidante de -86.66 mV .
- Para la variable de grados $^{\circ}\text{Brix}$ si mostro diferencia significativa, para el ambiente 1 (Guanajuato) se tuvo el mejor resultado en el T4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) con 32°Brix y en el ambiente 2 fue el T3 ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) con 20.56°Brix .
- El sulfato de plata muestra efecto significativo para la variable de diámetro polar en el ambiente1 (Gto) el T1 ($0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4) obteniendo un diámetro polar de 4.63, por lo cual ejerce un efecto negativo en el diámetro polar. Mientras tanto en el ambiente 2 (Saltillo) se obtuvo diferencia significativa obteniendo la mejor respuesta el tratamiento 4 ($90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4), en comparación con el testigo y los demás tratamientos.
- Para las variables de peso de bulbo y diámetro ecuatorial, la aplicación del sulfato de plata ejerce efecto negativo disminuyendo significativamente estas variables ya que para ambas localidades el mejor resultado lo obtuvo el T1 ($0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ag_2SO_4).
- El sulfato de plata no ejerce efecto en las variables de número de bulbillos, firmeza, mas sin embargo el ambiente 1 (Guanajuato) obtuvo mejor resultado que el ambiente 2 (Saltillo), para la variable de vitamina C tampoco se obtuvo diferencia significativa en los dos ambientes pero el ambiente 2 (Saltillo) supero al ambiente 1 (Guanajuato).

VI.- BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J.** 2007. Tratado de fitofármacos y nutraceuticos. Editorial CORPUS. Argentina.
- ANAISA (Asociación Nacional de la industria de Suplementos alimenticios).** 2013. Plantas Vegetales y Verduras. Boletín técnico. México, D.F.
- Barak, M., Ettehad, G. H., Arab, R., Derakhshani, F., Habibzadeh, S. H., Mahommadnia, H., Dailami, P., Daryani, A., and Zarei, M.** 2007. Evaluation of garlic extracts (*Allium sativum*) effect on common pathogenic gram-positive bacteria isolated from children with septicemia hospitalized at Imam Khomeini Hospital. Research Journal of Biological Sciences 2:236-238.
- Bayan, L., Hossain, P., and Gorji, A.** 2014. Garlic: a review of potential therapeutic effects. Article. Avicenna J Phytomed. PMID: PMC4103721
- Becker M.D.** 2002. Plata coloidal antibiótico natural no toxico. Maniago PN, Italia. 26 p.
- Benavides, Y.** 2012. Cultivo del ajo. Monografía. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Benkeblia, N., K. Ueno, S. Onodera y N. Shiomi.** 2005. Variation of fructooligosaccharides and their metabolizing enzymes in onion bulb (*Allium cepa L. cv. Tenshin*) during long-term storage. Journal of Food Science 70 (3): 208-214.
- Borek, C.** 2013. The Power of Antioxidants in AGED Garlic Extract. Disponible en línea: <http://www.totalhealthmagazine.com/articles/vitamins-and-supplements/the-power-of-antioxidants-in-aged-garlic-extract.html>. Consultado 1 de febrero de 2015.
- Brechelt, A.** 2004. El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para américa latina. Santiago de Chile, Chile. P 24

- Brewster, J. (2003).** Las cebollas y otros Alliums. Ed Acribia. España. pp 199-200
- Cabrera de la fuente M., Benavides A., Ortega H., Fuentes L. O., Ramírez H., Peralta R.M., Carreón A.** 2010. Bioacumulación de plata en plantas de sandía y su distribución en los tejidos vegetales. Simposio nacional de horticultura, Producción de tomate en el noreste de México. Saltillo, Coahuila, México. P.p. 189-195
- Cabrera- De la Fuente., M., A. Benavides- Mendoza, L.O. Fuentes- Lara, H. Ortega-Oriz, H. Ramírez, J.L. Rosales- Velázquez.** 2006 Acumulación de plata por semillas de sandía expuestas a diferentes concentraciones de nitrato de plata. Memoria del Simposio Internacional Alternativas para la Rehabilitación de suelos Contaminados con Metales Pesados y Metaloides. Colegio de Posgraduados y Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. ISBN 970-92068-2-2.
- Cantwell, M.** 2006. Garlic recommendations for maintaining postharvest quality. Postharvest Technology research & information Center. University of California. In: <http://postharvest.ucdavis.edu/> consultada en línea el 12 de junio de 2009
- Cardona L.; González P. A.** 2008. Obtención y caracterización de la oleorresina del ajo (*Allium sativum*). Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de tecnología, escuela de Química. 19 p.
- Cardona, L. y González, P. A.** 2007. Obtención de la oleorresina del ajo (*Allium sativum*). Tesis de grado. Universidad de Tecnología de Pereira, Facultad de tecnología. P.p. 15-17
- Catalán, H., Tribaldos, H., Tribaldos, J.** 2013. El ajo, Maquinaria y Técnicas de Cultivo, desde el punto de vista del agricultor. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, España.
- CODEX.** 2008. comité del Codex sobre frutas y hortalizas frescas. Ciudad de México, México.

- Dabrowska C. 2009.** Vitaminas y antioxidantes del ajo. Departamento de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid, España. 12 p.
- Del Pozo, A. y A. M. González.** (2005). Desarrollo y respuesta del ajo a la temperatura y fotoperiodo. *Agricultura Técnica* 65(2):119-126p.
- Falconi, M. S.** 2011. Elaboración y control de calidad de comprimidos Fitofarmacéuticos a base de extractos de Manzanilla (*Matricaria chamomilla L.*), Ajo (*Allium sativum*) y Jengibre (*Zingibre officinale*). Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- FAOSTAT. 2010.** FAO Statistical Database. Food and Agriculture Organization, New York. URL: <http://apps.fao.org/default.htm> (Consult: April 17, 2012).
- FDA (Fundación de Desarrollo Agropecuario, INC)** 2006. Cultivo de ajo. Fundación de Desarrollo Agropecuaria, Inc. Boletín Técnico No. 5, Segunda Edición. Santo Domingo, República Dominicana.
- Fundación EROSQKI.** El ajo, antibiótico natural. Disponible en: http://ideasana.fundacioneroski.es/web/es/13/escuela_1/escuela1_ajo.pdf. Consultado el 19 de enero del 2015.
- Galaz, E. A.** 2008. Efectos de factores ambientales precosecha en el desarrollo de la planta, bulbificación y acumulación de fructanos en el ajo. Tesis Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro.
- García J y Sánchez F.** 2000. Efectos cardiovasculares del ajo (*Allium sativum*). Archivos Latinoamericanos de nutrición, volumen 503, pp.219-229.
- González, J. A., Reyes, J. M., Rodríguez, R. M., López, G. C., Lozano, J., Hernández, A.** 2013. Reporte de indicadores técnicos de producción ajo. Dirección de información, geográfica y estadística agroalimentaria. Aguascalientes, Ags.
- Guapulema, M. E.** 2013. Proceso y Elaboración de Cápsulas de Ajo. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Hall, J.** 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. of Experimental Botany*, 53: 1-11.

- Herrington, D. 2013.** Health Benefits of Garlic. Disponible en línea: <http://foodmatters.tv/articles-1/4-healthy-reasons-to-love-garlic-plus-free-recipe>. Consultado 2015.
- <http://www.lennotech.com/espanol/tabla-peiodica/Ag.htm>
- Huchette, O., I, Arnault, J. Auger, C. Bellamy, L. Trueman, B. Thomas, S. Ochatt y R. Kahane, 2007.** Genotype, nitrogen fertility and sulfur availability interact to affect flavor in garlic. (*Allium sativum L.*). J. Hort. Sci. Biotechnol. 82: 79-88.
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2006.** Estudio de la cadena Agroalimentaria de Ajo en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. P.p. 9-10
- Jacqueline, J. 2010.** Informe sobre el mercado mundial del ajo. URL: www.copel.com.ar/mendozainforme/edito/jime/10.10-0.1.htm. (Consulta: Diciembre 10,2011)
- Kemper, K. J. 2000.** Garlic (*Allium sativum*). Long Wood Herbal Task Force. 49 p. In: <http://www.longwoodherbal.org>. Consultado en línea el 12 de junio de 2009.
- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., Abirami, S. M., Mohan, N., Kalaichelvan, P. T. 2012.** Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. Plant growth metabolism. Process Biochemistry 47. P.p 651–658.
- Lawson, L. y Wang, J. (2005).** Journal of Agricultural and food chemical, 53, 1974-1983
- López M. T. 2007.** El ajo, propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. Vol. 26. 4 p.
- López-Bellido, F.J.; Cabrera, J.; Ali, J. M.; Recio, D.; López-Bellido, R.J; Verdejo C.; Serrano M. 2003.** Efectos del tratamiento térmico de los bulbillos de plantación sobre el rendimiento y calidad en el cultivo de ajo (*Allium sativum L.*) cv. Morado de pedroñeras. Actas de Horticultura No. 39, x Pedroñeras. Actas de horticultura No. 39 X congreso Nacional de ciencias Hortícolas.

- Luo C., Zhang Y., Zeng, X., Wang Y.** 2005. The role of poly (ethylene glycol) in the formation of silver nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 288. P.p. 444- 448.
- Mafía B., Roa J. C. Debouck D. G.** 2003 Efecto del ancymidol y el nitrato de plata sobre el crecimiento de lulo (*Solanum quitoense Lam.*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum Sendt.*) conservados in vitro. Centro Internacional de Agricultura Tropical, A.A. Cali, Colombia. 1 p.
- Mafía, G., Roa, J.C. Guevara, C.L.** 2000. Advances in the in vitro growth control of cassava, using silver sulfate. In: "Cassava Biotecnología. Brasilia, Brasil, pp.439-446
- Manomita, P., Bhowmik, N., Archan, B., Sharma, A.** 2005. Comparison of mercury, heavy metals with respect to the genotoxic effects in plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. Volume 52, Issue 3, Pages 199–223.
- Mansilla, F.** 2004. Situación actual, características y técnicas de cultivo del ajo. Departamento de Mejora y Agronomía. C.i.f.a. D.G.I.A.- Consejería de Agricultura. Junta de Andalucía.
- Martínez S.; González-Gallego J.M. Culebras y toñón M^a. J.** 2002 Los flavonoides propiedades y acciones antioxidantes. Universidad de León, España. P.p. 1-4 Mater. 20: 1–10.
- Monades, H.** 2009. Importancia económica del cultivo en la región, país y el mundo. Manual de cultivo del ajo, Facultad de CS. Agronomía, Universidad de Chile.
- Muños A. M^a. Ramos F.** 2007. Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Revista Horizonte Medico* Vol. 7, N^o 1. Pp. 1-3.
- Muñoz Quezada, S., Gómez Llorente, C. & Gil Hernández, A.** 2010. Compuestos bioactivos de los alimentos de origen vegetal y obesidad. *Nutrición Clínica en Medicina*, 4(3):138-152.
- Nadina, N. Danilo, C., Lezcano, Y., Torne, J. M^a.** 2007. Efecto del Tiosulfato de Plata Sobre la Embriogénesis Somática y sa Semilla Artificial de

Caña de Azúcar. Nota Técnica. Agronomía Costarricense 31(2): P.p. 87-94. ISSN: 0377-9424.

Narayanan K. B. y Sakthivel N. 2008. Coriander leaf mediated biosynthesis of gold nanoparticles. *Materials letters*, 62.

Navarro M^o. C. 2007. Posibilidades terapéuticas del bulbo de ajo (*Allium sativum*). *Revista de fitoterapia* Vol. 7, N. ° 2. Fuente: www.Fitoterapia.net

Navarro, M^a. C. 2007. Posibilidades terapéuticas del bulbo de ajo (*Allium sativum*). *Revista de fitoterapia*, Volumen 7- N^o.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) 2012. El mercado del ajo. Oficina de estudios y políticas agrarias, URL: www.odepa.gop.cl

Pérez E. 2012. El ajo cultivo de importancia para México y el mundo. Portal del norte

Pérez T. 2003. Los flavonoides, antioxidantes o prooxidantes. *Rev. Cubana biomed.* P 48-57

Prakash M. and Gopalakrishnan N. 2014. Assessment of silver nanoparticle-induced physiological and molecular changes in *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Science and Pollution Research* July 2014, Volume 21, Issue 14, pp 8858-8869.

Rahim, M. A. y R. Fordham. (2007). Efecto de sombra en la hoja, tamaño de células y número de células epidérmicas en ajo (*Allium sativum* L.). *Ann. De botánica* 67: 167-171p.

Rai M., Yadav A. y Gade A. 2008 Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27. 76- 83 p.

Ramírez M^a. C.; Quiles J.L. 2007. Vitamina C, vitamina E y otros antioxidantes de origen alimentario. Disponible en línea. http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Gil%20Hernandez/vitaminas.pdf. Consultado el 20 de enero del 2015.

- Randle, W. M.** 2000. Increasing nitrogen concentration in hydroponic solution effects onion flavor and bulb quality. *J. Amer.Soc. Hort. Sci.* 125: 254-259.
- Reseman, J., G. Buffer, R Carle y H. Liebig.** 2001. Pungency and sprout growth of onion bulbs during storage. *Act Hort.* 555: 245: 245-247.
- 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.
- Rosales-Velázquez, J.L., A. Benavides-Mendoza, L.O. Fuentes-Lara, H. Ortega- Ortiz, H. Ramírez, M., Cabrera-De la Fuente.** 2006. Absorción de iones plata por plantas de cebolla y su respuesta a la aplicación de nitrato de plata en el sustrato. Memoria del Simposio Internacional. Alternativas para la Rehabilitación de Suelos Contaminados con metales Pesados y Metaloides. Colegio de Posgraduados y Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. ISBN 970-92068-2-2
- Rueda, R. D.** 2013. Evaluación de la aplicación de cuatro dosis de fertilización química en dos variedades de ajo (*Allium sativum L.*), en el Cantón San Pedro de Huaca". /TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agropecuario, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería agropecuaria, Ibarra. 97 pág. 8 anexos.
- S.A.R.H.** 2004. Datos Básicos de Horticultura y Ornamentales.
- SAGARPA** 2012. Plan rector del comité sistema producto ajo A.C. Aguas Calientes. P. 47
- Sharani, P.V., Sethu, S., Vadukumpully, S., Zhong, S., Lim, C.T., Hande, P., Shtangeeva' I., Venalainen, S., Hartikainen, H., Surgik, M. y Timofeev, M.** 2011. Silver-induced changes in the nutrient and trace element uptake by wheat and amount of the rhizosphere proteins. *Journal of Plant Nutrition.* Volume 34.
- Sidoti, B., Caucota, D.** 2010. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de ajo. Comunicaciones - Publicación del Valle Inferior

- Sidoti, B., Caucota, D.** 2010. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de ajo. Comunicaciones - Publicación del Valle Inferior. N° 64
- Soto V., Galmarini C.** 2012. Actividad antioxidante de distintas cultivares de ajo y su relación con los compuestos organoazufrados. Editorial INTA.
- Soto V., Galmarini C.** 2012. Contenido de compuestos fenólicos en ajo y su relación con la actividad antioxidante. Editorial INTA.
- Terán, O.** (2006). El cultivo del ajo Catagarta- San Juan del Oro centro de desarrollo – cid- 77pag.
- Thompson, M., Al-Qattan, K. K., Bordia, T., and Ali, M.** 2006, including garlic in the dirt may help lower blood glucose, colesterol, and triglyceridos. Journal of Nutrition. (Supplement) 136: 800S-802S.
- Torija, M^a. E. Matellana, M^a., Chalup, N.** 2013. El ajo y la cebolla: de las medicinas antiguas al interés actual. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. ISSN: 0366-3272
- Valcho D. Z., Niels E. N.** 2006. Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. Volume 178, Issue 1, pp 59-66
- Valiyaveettil, S.** 2010. Investigations on the Structural Damage in Human Erythrocytes Exposed to Silver, Gold, and Platinum Nanoparticles. Adv. Funct.
- Van, F. and Clijsters, H.** 2006. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant, Cell & Environment. Volume 13, Issue 3, pages 195–206.
- Veen, H.** 2007 Silver thiosulphate: An experimental tool in plant science. Scientia Horticulturae. Volume 20, Issue 3, Pages 211–224
- Yadav, S.K.** 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany Volume 76, Issue 2, Pages 167–179

VII. - APÉNDICE

Tabla 1. Comparación de medias para peso de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	112.83	1
B A	86.47	6
B A	85.17	3
B A	85.17	5
B A	84.17	4
B	64.83	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable peso de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	3515.602778	703.120556	1.96	0.1577
Error	12	4307.160000	358.930000		
Total	17	7822.762778			
		Media: 86.43889	C.V: 21.91774		

Tabla 3. Comparación de medias para peso de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	92.697	1
B	60.023	4
B	52.260	2

B	51.783	3
B	50.033	6
B	44.810	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable peso de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	4544.468911	908.893782	9.06	0.0009
Error	12	1204.111267	100.342606		
Total	17	5748.580178			
		Media: 58.60111	C.V: 17.09373		

Tabla 5. Comparación de medias para el diámetro polar de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	4.6333	1
A	4.5000	5
A	4.4667	6
A	4.4000	4
A	4.3333	3
A	4.1333	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable diámetro polar de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Tratamientos	5	0.43111111	0.08622222	0.20	0.9562
Error	12	5.16666667	0.43055556		
Total	17	5.59777778			

Media: 4.411111 **C.V:** 14.87533

Tabla 7. Comparación de medias para el diámetro polar de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	4.8967	4
B A	4.2267	6
B A	4.1700	5
B A	4.1167	2
B A	3.9400	3
B	3.7000	1

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 8. Análisis de varianza para el variable diámetro polar de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	2.42325000	0.48465000	1.67	0.2170
Error	12	3.49000000	0.29083333		
Total	17	5.91325000			

Media: 4.175000 **C.V:** 12.91712

Tabla 9. Comparación de medias para el diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	6.3000	1
B A	6.0433	6
B A	5.9250	4

B	A	5.7833	5
B		5.3167	2
B		5.1167	3

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 10. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	4.62669444	0.92533889	2.50	0.0896
Error	12	4.43660000	0.36971667		
Total	17	9.06329444			

Media: 5.779444	C.V: 10.52079
------------------------	----------------------

Tabla 11. Comparación de medias para el diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	7.817	1
B	5.137	4
B	4.870	2
B	4.800	6
B	4.740	3
B	4.680	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 12. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	22.44996111	4.48999222	2.19	0.1234
Error	12	24.60053333	2.05004444		
Total	17	47.05049444			

Media: 5.340556 **C.V:** 26.80990

Tabla 13. Comparación de medias para el número de bulbillos (dientes) en los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	20.667	1
A	19.333	6
A	17.333	4
A	17.000	3
A	16.333	5
A	13.333	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 14. Análisis de varianza para la variable número de bulbillos en el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	96.6666667	19.33333333	1.23	0.3557
Error	12	189.3333333	15.7777778		
Total	17	286.0000000			

Media: 17.33333 **C.V:** 22.91611

Tabla 15. Comparación de medias para el número de bulbillos (dientes) en los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	13.333	1
A	11.667	4
A	11.333	2
A	11.333	6

A	10.333	3
A	9.333	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 16. Análisis de varianza para la variable número de bulbillos en el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	5	27.11111111	5.42222222	0.47	0.7906
Error	12	138.0000000	11.5000000		
Total	17	165.1111111			

Media: 11.22222	C.V: 30.21830
------------------------	----------------------

Tabla 17. Comparación de medias para la firmeza de los bulbos en el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	10.7000	4
A	10.6667	5
A	10.2000	6
A	9.9667	1
A	9.7667	3
A	9.3333	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 18. Análisis de varianza para la variable firmeza de bulbos en el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	4.22277778	0.84455556	0.71	0.6291
Error	12	14.32666667	1.19388889		

Total	17	18.54944444
-------	----	-------------

Media: 10.10556	C.V: 10.81239
------------------------	----------------------

Tabla 19. Comparación de medias para la firmeza de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	10.400	6
A	10.333	1
A	10.333	4
A	9.967	3
A	9.600	5
A	8.467	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 20. Análisis de varianza para la variable firmeza de bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	8.278333333	1.655666667	0.94	0.4890
Error	12	21.106666667	1.758888889		
Total	17	29.38500000			

Media: 9.850000	C.V: 13.46427
------------------------	----------------------

Tabla 21. Comparación de medias de los grados Brix de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Agrupamiento de Duncan	Media	Tratamientos
A	32.000	4
B A	31.067	5

B	A	30.667	2
B	A	29.733	3
B	A	29.667	6
B		27.933	1

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 22. Análisis de varianza para la variable Brix de los bulbos en el ambiente1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	5	29.53777778	5.90755556	1.86	0.1757
Error	12	38.13333333	3.17777778		
Total	17	67.67111111			

Media: 30.17778	C.V: 5.907102
------------------------	----------------------

Tabla 23. Comparación de medias de los grados Brix de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	20.567	3
B	19.867	2
B	19.467	4
B	18.067	1
B	17.267	5
B	16.867	6

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 24. Análisis de varianza para la variable Brix de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	33.74500000	6.74900000	2.48	0.0920
Error	12	32.70000000	2.72500000		

Total	17	66.44500000
-------	----	-------------

Media: 18.68333	C.V: 8.835454
------------------------	----------------------

Tabla 25. Comparación de medias del potencial redox de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	-90.00	4
A	-76.33	1
B A	-74.66	5
B A	- 74.33	2
B A	-69.33	3
B A	-66.33	4

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 26. Análisis de varianza para la variable potencial redox de los bulbos en el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	1153.833333	230.766667	2.49	0.0908
Error	12	1112.666667	92.722222		
Total	17	2266.500000			

Media: -75.16667	C.V: -12.81052
-------------------------	-----------------------

Tabla 27. Comparación de medias del potencial redox de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	-86.66	3
B	-85.66	4
B	-83.66	2

B	-77.00	6
B	75.00	5
B	-50.00	1

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 28. Análisis de varianza para la variable potencial redox de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	2676.000000	535.200000	3.32	0.0409
Error	12	1932.000000	161.000000		
Total	17	4608.000000			

Media: -76.33333	C.V: -16.62259
-------------------------	-----------------------

Tabla 29. Comparación de medias para vitamina C de los bulbos para el ambiente 1 (Guanajuato).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	2.648	3
A	2.614	6
A	2.194	2
A	1.964	4
A	1.962	1
A	1.959	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 30. Análisis de varianza para la variable vitamina C de los bulbos en el ambiente 1 (Guanajuato).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	5	1.39396593	0.27879319	0.15	0.9761
Error	10	18.84294702	1.88429470		
Total	15	20.23691295			

Media: 2.215521 **C.V:** 61.95816

Tabla 31. Comparación de medias para vitamina C de los bulbos para el ambiente 2 (Saltillo).

Duncan Agrupamiento	Media	Tratamientos
A	6.320	1
A	5.992	4
A	5.833	6
A	3.640	3
A	2.720	2
A	1.249	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 32. Análisis de varianza para la variable vitamina C de los bulbos en el ambiente 2 (Saltillo).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	43.7646739	8.7529348	1.31	0.3343
Error	10	66.8483349	6.6848335		
Total	15	110.6130088			

Media: 4.672489 **C.V:** 55.33463