

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Respuesta del Ajo a Fechas de Siembra, Dosis de Micronutrientes Y Humatos en  
Zacatecas, México

Por:

**CRUZ DAVILA MUNOZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Respuesta del Ajo a Fechas de Siembra, Dosis de Micronutrientes Y Humatos en  
Zacatecas, México

Por:


**CRUZ DAVILA MUNOZ**

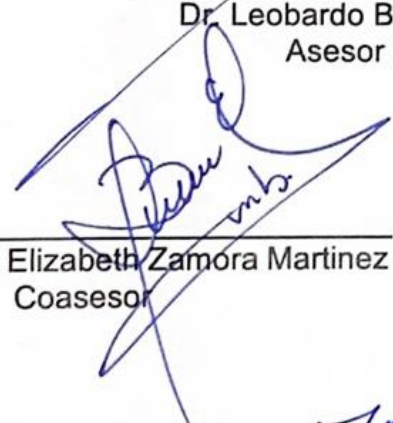
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
M. C. Blanca Elizabeth Zamora Martinez  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M. C. Sergio Sánchez Martínez  
Coordinador de la División de Ingeniería



Saltillo, Coahuila, México  
Octubre, 2021

## AGRADECIMIENTOS

**A mi alma mater** por ser el lugar donde pude adquirir mis conocimientos, haberme brindado la oportunidad de tener grandiosas experiencias y ser un pilar de apoyo para nuevas generaciones.

**A mis padres**, por darme la oportunidad de estudiar, creer en mis capacidades y apoyarme en todo lo que me he propuesto a realizar a lo largo de mi carrera universitaria.

**A mis abuelos**, por brindarme apoyo incondicional en todo, por siempre creer en mí aun cuando yo no lo he hecho.

**A mi pareja**, por estar conmigo cada día de mi carrera universitaria, siempre creer en mí, estar conmigo en la distancia, no alejarte y apoyarme en el trayecto de esta investigación.

**A mi familia**, por apoyarme durante el desarrollo de esta investigación y creer en mí.

**Al Dr. Leobardo Bañuelos Herrera**, por haberme apoyado durante el desarrollo de esta investigación, compartiendo sus conocimientos e instruyéndome a aplicarlos.

**Al Dr. Luis Samaniego Moreno**, por su apoyo durante el trayecto de mi carrera universitaria, por los conocimientos que me aportó a lo largo de estos últimos años.

**A la M. C. Blanca Elizabeth Zamora Martinez**, por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

**A mis amigos**, por estar conmigo durante esta etapa de mi vida, por apoyarme y creer en mis capacidades.

**¡Gracias por todo!**

## DEDICATORIA

**A mis padres.** La lic. Silvia Muñoz Rentería, el médico Cruz Antonio Davila Rosales. Por darme la vida y los consejos para vivirla, por estar conmigo en las buenas y en las malas. Siempre aconsejándome en cada cosa que quiero hacer en mi vida y apoyarme. Esto es gracias a ustedes, los amo.

**A mis hermanos.** Braulio y Karla Davila Muñoz. Por siempre creer en mí y enseñarme lo que es el cariño incondicional. Con nuestras diferencias y todo siempre vamos a estar juntos en las buenas y en las malas. Los amo.

**A mis abuelos.** El sr. Adán Muñoz Serna y la Sra. Alicia Rentería Gonzales. Gracias por todo lo que han hecho por mí, nunca tendré forma de pagarles, gracias por sus enseñanzas y por los regaños que me han dado, han formado esta persona que soy. Los amo.

**A mi pareja.** La lic. Elsa Linora García Delgado. Por siempre haber estado para mí, en la distancia y en la cercanía. Gracias por estar conmigo a lo largo de todos estos años y haberme apoyado en cada uno de mis planes. Te amo.

**A mi mejor amigo.** Miguel Alejandro Alvarado García (+). Por haber sido ese hermano que siempre estuvo para mí, que cuando lo necesité durante mis estudios universitarios siempre recibí una respuesta, fuiste mi mejor amigo y un hermano para mí. Donde quiera que estés, muchas gracias por todo y descansa en paz.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 <b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>4</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <b>ORIGEN E HISTORIA</b> .....	<b>5</b>
2.2 <b>PRODUCCIÓN MUNDIAL</b> .....	<b>6</b>
2.3 <b>PRODUCCIÓN NACIONAL</b> .....	<b>7</b>
2.4 <b>DEMANDA NACIONAL DE AJO (2010-2019)</b> .....	<b>9</b>
2.5 <b>TAXONOMÍA</b> .....	<b>9</b>
2.6 <b>CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS</b> .....	<b>10</b>
2.7 <b>COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL</b> .....	<b>11</b>
2.8 <b>FECHAS DE SIEMBRA</b> .....	<b>13</b>
2.9 <b>DEMANDA HÍDRICA</b> .....	<b>14</b>
2.10 <b>REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS</b> .....	<b>15</b>
2.11 <b>FERTIRRIGACIÓN</b> .....	<b>16</b>
2.11.1 <b>Macronutrientes</b> .....	<b>17</b>
2.11.2 <b>Micronutrientes</b> .....	<b>21</b>
2.12 <b>HUMATOS</b> .....	<b>27</b>
2.13 <b>PLAGAS Y ENFERMEDADES</b> .....	<b>28</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
3.1 <b>SITIO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>30</b>
3.2 <b>CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>30</b>
3.3 <b>SUELO</b> .....	<b>30</b>
3.4 <b>MATERIAL VEGETATIVO</b> .....	<b>31</b>
3.5 <b>PREPARACIÓN DEL TERRENO</b> .....	<b>32</b>
3.6 <b>ESTABLECIMIENTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>33</b>
3.7 <b>SIEMBRA</b> .....	<b>33</b>
3.8 <b>FERTILIZACIÓN</b> .....	<b>34</b>
3.9 <b>RIEGO</b> .....	<b>34</b>
3.10 <b>CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES</b> .....	<b>34</b>

3.11	PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE.....	34
3.12	ÁCIDOS HÚMICOS .....	35
3.13	PREPARACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS .....	35
3.14	COSECHA Y POSTCOSECHA .....	37
3.15	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
3.15.1	Modelo estadístico.....	38
3.16	DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES .....	39
3.16.1	Factor A (Fechas de siembra) .....	39
3.16.2	Factor B (Dosis de micronutrientes) .....	39
3.16.3	Factor C (Dosis de humatos).....	39
3.17	VARIABLES EVALUADAS.....	40
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1	DIÁMETRO DEL BULBO.....	43
4.2	PERÍMETRO DEL BULBO.....	48
4.3	PESO DEL BULBO.....	52
4.4	NÚMERO DE DIENTES.....	56
4.5	AJO BOMBÓN .....	60
4.6	PESO MEDIO DE DIENTES.....	64
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>68</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>APÉNDICES .....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Producción mundial de ajo en el 2020 .....	7
Cuadro 2.2 Producción Nacional de ajo ( <i>Allium sativum</i> ) en el 2020.....	8
Cuadro 2.3 Comportamiento de la demanda (CNA) del 2010 al 2019 .....	9
Cuadro 2.4 Composición nutricional del ajo ( <i>Allium sativum</i> ).....	12
Cuadro 2.5 Efecto de diferentes niveles de K en la absorción de N, P, K, S, Ca, Mg, B y Na por el bulbo y hojas .....	18
Cuadro 3.1 Análisis de suelo del área experimental.....	31
Cuadro 3.2 Dosis de micronutrientes utilizadas durante el experimento .....	35
Cuadro 3.3 Dosis utilizada para la preparación de cada tratamiento .....	36
Cuadro 4.1 Concentración de datos de cuadrados medios .....	43
Cuadro 6.1 Descripción de cada tratamiento .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Comportamiento de la evapotranspiración del ajo .....	15
Figura 3.1 Largo del diente utilizado para la siembra (a), ancho del diente utilizado para siembra (b)a).....	32
Figura 3.1 Largo del diente utilizado para la siembra (a), ancho del diente utilizado para siembra (b).....	32
Figura 3.3 Medición del perímetro del bulbo del ajo) .....	40
Figura 3.2 Medición del diámetro polar (a) y diámetro ecuatorial (b) del bulbo .....	40
Figura 3.3 Medición del perímetro del bulbo del ajo .....	41
Figura 3.4 Medición del peso del bulbo del ajo .....	41
Figura 3.5 Metodología para la medición del número de dientes. ....	42
Figura 4.1 Influencia de la fecha de siembra sobre el diámetro (cm) del bulbo .....	45
Figura 4.2 Influencia de la dosis de micronutrientes sobre el diámetro (cm) del bulbo del ajo .....	46
Figura 4.3 Influencia de la dosis de humatos sobre el diámetro (cm) del bulbo del ajo.....	47
Figura 4.4 Influencia de las fecha de siembra sobre el perímetro (cm) del bulbo del ajo.....	50
Figura 4.5 Influencia de la dosis de micronutrientes en el perímetro (cm) del bulbo del ajo .....	51
Figura 4.6 Influencia de la dosis de humatos sobre el perímetro (cm) del bulbo del ajo.....	52
Figura 4.7 Respuesta de la fecha de siembra sobre el peso (g) del bulbo ....	53
Figura 4.8 Respuesta de la dosis de microelementos sobre la variable peso (g) del bulbo .....	55
Figura 4.9 Influencia de la dosis de Humatos sobre el peso (g) del bulbo de ajo .....	56
Figura 4.10 Influencia de la fecha de siembra sobre el número de dientes del bulbo del ajo .....	58
Figura 4.11 Influencia de la dosis de micronutrientes sobre el número de dientes del bulbo del ajo .....	59
Figura 4.12 Respuesta de la dosis de humatos sobre el número de dientes	60
Figura 4.13 Influencia de la fecha de siembra en el porcentaje de ajo bombón .....	61
Figura 4.14 Respuesta de la dosis de microelementos en el porcentaje de ajo bombón .....	62
Figura 4.15 Influencia de la dosis de humatos en el porcentaje de ajo bombón .....	63
Figura 4.16 Influencia de la fecha de siembra sobre el peso medio de dientes .....	65



<b>Figura 4.17 Respuesta de la dosis de micronutrientes sobre el peso medio de dientes .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 4.18 Respuesta de las dosis de humatos en el peso medio de dientes .....</b>	<b>67</b>

## RESUMEN

La producción de ajo en México ha mostrado un aumento significativo a lo largo de los últimos años, debido a la creciente demanda del producto para consumo por su importancia en la cocina como condimento y como alternativa natural en el tratamiento de enfermedades. El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto de las fechas de siembra, dosis de microelementos y humatos y la interacción de estos en la producción de ajo. El experimento fue realizado durante la época de siembra del ajo, que tradicionalmente se hace en el estado de Zacatecas (México), en un rancho de nombre "San Martín" ubicado en la región de Chaparrosa, Villa de Cos. La siembra se hizo a 6 hilos, con separación de 7 cm entre cada semilla, en tres camas de 1.83 m de ancho cada uno y 48 m de largo. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial A x B x C (3x4x4), con un total de 48 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, dando lugar a 144 unidades experimentales, se evaluaron 3 factores y su correspondiente interacción tales como: factor A (fechas de siembra), factor B (dosis de microelementos) y factor C (dosis de humatos). Las variables evaluadas fueron: Diámetro (DB), perímetro (PB), peso de bulbo (PDB), número de dientes (ND), ajo bombón (BOM) y peso medio de dientes (PMD). Los resultados indican que el diámetro del bulbo tiene un incremento en fechas de siembra tempranas y con dosis bajas de micronutrientes, a medida en que se realiza la siembra en fechas tardías, se reduce el diámetro de estos y en consecuencia se afecta también el peso de los bulbos. Para la variable diámetro, se encontró diferencia estadística significativa para las fechas de siembra, dosis de microelementos y la interacción de estas dos. La variable perímetro reportó incrementos para siembras tempranas y microelementos en dosis bajas, a medida que la dosis de microelementos aumenta, este se ve afectado con disminución de hasta 5 % para dosis altas. El peso del bulbo presentó aumentos en fecha de siembra tempranas, con disminución de hasta un 30 % en siembras tardías, la dosis de microelementos bajas reportó mayor peso del bulbo, con dosis medias y altas disminuyen hasta en un 4 y 11 % respectivamente. El número de dientes solo presentó diferencia estadística significativa en dosis bajas de microelementos, con disminución en dosis altas de hasta un 6 %. La variable bombón únicamente no tuvo diferencia estadística en las dosis de humatos, pero se incrementó el porcentaje de estos en fechas de siembra tardías y cuando se aplicaron los microelementos en dosis medias y altas. El peso medio de dientes mostró diferencia estadística significativa en los factores fecha de siembra, dosis de microelementos y la interacción entre estos dos, los dientes con mayor peso, se obtuvieron cuando se hicieron siembras tempranas y se redujo, cuando se hizo la siembra en fechas tardías, con respecto a la dosis de microelementos, los mayores pesos fueron registrados a dosis bajas de estos elementos y se redujo de manera significativa, cuando se aplicaron los microelementos a dosis medias y altas.

**Palabras claves:** Ajo, fechas de siembra, microelementos, humatos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El *ajo* es una hortaliza que es utilizada de manera general como alimento para la cocina en México, en donde la mayoría de los hogares lo utilizan para dar sabor a los alimentos que se preparan. En México preferentemente se consume el ajo fresco por la intensidad de su sabor y fácil manejo para el consumidor. Su uso va desde restaurantes, fondas, puestos informales de comida, y hasta los consumidores finales que son los hogares (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, s. f.).

El ajo es consumido de las siguientes formas:

- Como semilla para ser utilizada como material vegetativo
- Para consumo en fresco por humanos en una y mil aplicaciones
- Para la industria de alimentos, bebidas, fitofármacos, suplementos, cosméticos y otros.

En México, en el año 2020 la producción de ajo reportó una superficie cosechada de 6,782.98 hectáreas (sin tomar en cuenta superficie siniestrada), alcanzando rendimientos en promedio de 12.78 t\*ha<sup>-1</sup> cultivada en todo el país. La producción alcanzó un total de 86,688.13 t\*año<sup>-1</sup>. De estos, los principales estados del país en producción de ajo fueron: Zacatecas, Guanajuato y Puebla, teniendo el 56%, 16% y 7% respectivamente (SIAP, 2021).

El consumo del ajo se ha incrementado a nivel mundial, con un gran aumento en las superficies plantadas en los países que lo producen, los datos sobre la

evolución del consumo indican un constante crecimiento en las últimas décadas. Esta hortaliza tiene una excelente demanda en los mercados tanto nacionales como internacionales (SAGARPA, 2015). Ya que este es un producto agrícola que en la mayoría de los hogares mexicanos es consumido, se podría decir que se consume todo el año de manera continua y para cumplir con la demanda de ajo, en el año 2019 se importó la cantidad de 15,973 toneladas, y se exportaron 9,803 toneladas. La demanda que tuvo este producto en el año 2019 fue de 89,080 toneladas, considerando a México en el año 2019 con una población de 126'014,024 millones de habitantes (INEGI, s. f.) el consumo per Cápita de este producto fue de 0.70 kg de ajo por año. México se encuentra en el lugar número 12 a nivel mundial en exportación de este producto, China ocupa el primer lugar mundial, con la cantidad de 1'761,667 toneladas exportadas durante el 2019 (FAO, 2021).

La tendencia en el uso del ajo es única entre las hortalizas en que la demanda no sólo ha aumentado constantemente durante muchas décadas, sino que ha crecido a un ritmo cada vez mayor. Además, a pesar del impresionante crecimiento de hortalizas como el brócoli, los pimientos y las zanahorias, ninguna hortaliza ha experimentado un crecimiento más fuerte en la demanda en los últimos 10 años.

Estos factores del producto reflejan una prospectiva de crecimiento como alimento funcional. Utilizado sobre todo en cocina para dar sabor a una amplia variedad de comidas, es fuente de vitamina C, el potasio, el fósforo, el selenio, varios aminoácidos, y una variedad de compuestos del sulfuro, incluyendo alicina, un compuesto natural cuyos efectos prometedores sobre la salud ahora se están estudiando en varias universidades del mundo. El ajo se ha probado como alimento y artículo popular de la nutrición, y está ganando credibilidad científica como contribuidor significativo a la buena salud (USDA, 2000a).

Los micronutrientes en las plantas cumplen diversas funciones, modificando la susceptibilidad de las plantas a enfermedades. El exceso y la deficiencia de estos predisponen a la planta al ataque de diversos patógenos, que pueden no solo afectar al crecimiento y desarrollo de la planta, si no también afectar la actividad microbiológica en la rizosfera y en el suelo. Del mismo modo pueden afectar a la producción de metabolitos secundarios como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. El uso correcto de micronutrientes contribuye a una disminución en el uso de fungicidas al contribuir favorablemente en el control de enfermedades o patógenos, actuando directamente sobre estos o modificando las condiciones en que estos se desarrollan. Los micronutrientes tienen diversas funciones dentro de las plantas, funcionan como constituyentes de enzimas (Fe, Mn, Cu), para la activación de enzimas (Mn, Zn), transporte de electrones en la fotosíntesis (Fe, Cu, Mn), tolerancia al estrés (Mn, Zn), crecimiento reproductivo (Cu, Mn, Zn, B) y como constituyentes de paredes celulares y membranas, entre otras funciones que se han demostrado en otras investigaciones.

El objetivo de la presente investigación es conocer el efecto que tienen las fechas de siembra, diferentes dosis de micronutrientes y de humatos sobre el rendimiento y calidad de *Allium sativum* L.

## **1.1 Hipótesis**

Las primeras fechas de siembra, en conjunto con una adecuada adición de micronutrientes y humatos a la solución de suelo, producen un mejor rendimiento y calidad de *Allium sativum* L. var. Jaspeado.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen e historia

El ajo se encuentra entre los cultivos hortícolas más antiguos del viejo mundo, ya que desde hace 5000 años se han encontrado evidencias de esta especie en las culturas egipcia e india, así mismo, por los babilonios hace 4500 años y por los chinos hace 2000 años. El ajo silvestre crece sólo en Asia Central (centrado en Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán). Anteriormente en la historia, el ajo creció en una región mucho más grande y, puede haberse producido en un área desde China hasta la India, Egipto y Ucrania. Esta región es donde el ajo ha crecido de forma natural y se le denomina como su "Centro de Origen" ya que esta es la región geográfica donde se originó el cultivo. De hecho, se suele hablar de "ajo silvestre" en otras partes del mundo, esta es la única región donde el verdadero ajo crece rutinariamente en la naturaleza sin la ayuda de la propagación humana. Hay otras plantas localmente referidas como "ajo silvestre", pero estas son invariablemente otras especies del género *Allium*, no el ajo en sí (*Allium sativum*) (Simon y USDA, 2006).

Se han encontrado registros de diversas civilizaciones, en el que se ha reflejado un amplio interés terapéutico. En el papiro de Ebers, en el que se refleja la gran importancia que se le atribuía, haciendo referencia a sus beneficios sobre trabajadores que se dedicaban a las tareas más duras, como lo era la construcción de pirámides. En la antigua Grecia, los atletas lo consumían durante los juegos olímpicos para aumentar su resistencia. En la antigua medicina china, era utilizado para favorecer la respiración y digestión, también para el tratamiento de diarrea y prevenir enfermedades como trombosis. Los hindúes lo utilizaban para problemas

de corazón, de artritis. Asimismo, lo recomendaban para fatigas, parasitosis y lepra. En Europa además de lo anterior se recomendaba para dolores de cabeza, partos dificultosos, parasitosis intestinales y alteraciones digestivas y problemas renales (Navarro, 2007).

¿Qué tipos de ajos fueron los primeros en cultivarse? no se sabe casi nada sobre los primeros tipos o variedades de ajo cultivados. No existe alguna designación de variedades del ajo en los primeros escritos descubiertos a la fecha, ya sea *hardneck* o *softneck*, rojo o blanco, temprano o tardío, local o exótico. A lo largo de su historia algunos han especulado que el ajo de cuello blando (*softneck*) era el tipo predominante cultivado, aunque la evidencia de lo que se interpretaría como un tipo de cuello duro (*hardneck*) se encontró enterrado en las tumbas egipcias. Los productores y consumidores de ajo han pasado 5000 años de historia cultivando y consumiendo esta especie sin tener la necesidad de especificar el tipo o la variedad usada. En los últimos cientos de años se han desarrollado descripciones detalladas de las cultivadas (Simon y USDA, 2006).

## **2.2 Producción mundial**

Según datos de (FAO, 2021), en el mundo se producen un total de 30'755,707 toneladas de ajo, en una superficie de 1'639,749 hectáreas. En todo el mundo el principal productor mundial es China, teniendo una producción de 23'305,888 toneladas, seguido de India con 2'910,000 toneladas. México se ubica en el lugar 19 (Cuadro 2.1), con una producción de 82,910 toneladas anuales. Los mejores rendimientos son los obtenidos por Uzbekistán ( $30.51 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), seguido por China ( $27.94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), México tiene rendimientos de hasta un 60 % menos en relación con Uzbekistán.

**Cuadro 2.1 Producción mundial de ajo en el 2020**

#	País	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t*ha <sup>-1</sup> )
1	<b>China</b>	834226	23305888	27.94
2	<b>India</b>	358000	2910000	8.13
3	<b>Bangladesh</b>	71734	466389	6.50
4	<b>República de Corea</b>	27689	387671	14.00
5	<b>Egipto</b>	15503	318800	20.56
6	<b>España</b>	27350	271350	9.92
7	<b>Estados Unidos de América</b>	10930	237340	21.71
8	<b>Argelia</b>	13408	223311	16.66
9	<b>Uzbekistán</b>	7089	216272	30.51
10	<b>Ucrania</b>	23600	215070	9.11
11	<b>Myanmar</b>	28280	208908	7.39
12	<b>Rusia</b>	21008	202120	9.62
13	<b>Etiopía</b>	18344	152595	8.32
14	<b>Argentina</b>	15787	147649	9.35
15	<b>Brasil</b>	11209	131523	11.73
16	<b>Indonesia</b>	12280	88817	7.23
17	<b>Tailandia</b>	13092	84039	6.42
18	<b>Perú</b>	7924	83297	10.51
19	<b>México</b>	6807	82910	12.18
20	<b>Pakistán</b>	8109	75342	9.29

Fuente: (FAO, 2021)

### 2.3 Producción nacional

Según los datos proporcionados por (SIAP, 2021), la estadística de la producción de ajos en 2020 está plasmada en el Cuadro 2.2. En México, la superficie cosechada fue de 6782.9 Ha. Los principales estados productores de ajo son Zacatecas (48,914.9 t), Guanajuato (13,541.2 t) y Puebla (5,684 t). La producción alcanzó un total de 86,688.1 toneladas, con un rendimiento promedio de 9 t \* ha<sup>-1</sup>. El valor de la producción que el ajo alcanzó fue de \$ 1,666,008,075.14 mxn en dicho año.



**Cuadro 2.2 Producción Nacional de ajo (*Allium sativum*) en el 2020**

Estado	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (t*Ha)	Precio (mxn/kg)	VP (mxn)
Aguascalientes	201.0	201.0	0.0	3,048.2	15.3	19.30	58,832,160
Baja California	197.0	197.0	0.0	1,969.6	9.2	24.15	47,562,000
Baja California Sur	56.3	56.3	0.0	691.6	10.1	28.23	19,523,800
Coahuila	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.00	0.00
Chihuahua	26.5	26.5	0.0	311.3	10.6	22.84	7,109,100
Durango	3.0	3.0	0.0	18.5	6.2	34.00	629,000
Guanajuato	1,094.2	1,094.2	0.0	13,541.2	11.9	27.29	369,565,079.4
Guerrero	4.9	4.9	0.0	19.5	4.0	15.96	311,752.70
Hidalgo	64.3	64.3	0.0	673.3	11.1	22.29	15,009,218.62
Jalisco	19.5	19.5	0.0	285.7	14.7	35.45	10,127,356
Michoacán	3.3	3.3	0.0	27.1	8.3	16.98	459,648.60
Nuevo León	343.5	343.5	0.0	3,043.9	7.6	24.85	75,647,500
Oaxaca	195.4	195.4	0.0	1,525.3	7.4	20.06	30,589,791.86
Puebla	652.9	652.9	0.0	5,684.0	9.9	18.75	106,555,556
Querétaro	84.5	84.5	0.0	709.7	8.2	29.55	20,975,873.57
San Luis Potosí	166.0	166.0	0.0	1,660.9	9.4	18.91	31,408,861.51
Sonora	641.3	573.1	68.2	4,317.9	7.0	17.76	76,686,132.52
Tlaxcala	55.6	37.6	18.0	245.6	6.3	15.18	3,728,189.12
Zacatecas	3,060.0	3,060.0	0.0	48,914.9	14.5	16.18	791,287,055.2
<b>Total</b>	<b>6,870.1</b>	<b>6,782.9</b>	<b>87.2</b>	<b>86,688.1</b>	<b>9.0</b>	<b>21.46</b>	<b>1,666,008,075</b>

Fuente: (SIAP, 2021)

VP: Valor de la producción, Ha: Hectáreas, t: Toneladas, kg: kilogramo, mxn: Peso mexicano

## 2.4 Demanda nacional de ajo (2010-2019)

Basados en cifras obtenidas de bases de datos de (FAO, 2021) relativas a la producción nacional, importaciones, exportaciones y demanda (CNA) del ajo en México del año 2010 a 2019 y del (INEGI, s. f.) referentes a la población total de estos años, se presentan las cifras en el Cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3 Comportamiento de la demanda (CNA) del 2010 al 2019**

Año	Producción nacional (t)	Importaciones (t)	Exportaciones (t)	CNA (t)	Población total (millones)	CPA (Kg*habitante <sup>-1</sup> )
2010	47,429	14,752	12,370	49,811	113.75	0.44
2011	58,065	14,370	12,526	59,909	115.37	0.52
2012	54,015	11,669	14,245	51,439	116.94	0.44
2013	59,015	11,518	9,864	60,669	118.45	0.51
2014	54,724	12,799	12,043	55,480	119.94	0.46
2015	58,757	14,730	13,459	60,028	121.35	0.49
2016	75,987	15,623	15,659	75,951	122.72	0.62
2017	89,840	13,090	14,408	88,522	124.04	0.71
2018	94,692	18,034	9,201	103,525	125.33	0.83
2019	82,910	15,973	9,803	89,080	126.58	0.70

Fuente: (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021)

CPA: Consumo Percapita aparente, CNA: Consumo Nacional Aparente, t: toneladas, kg: Kilogramos

## 2.5 Taxonomía

Existe una polémica entre los botánicos, respecto a la correcta ubicación del género *Allium*. Algunos consideran que pertenece a la familia Amaryllidaceae, otros autores lo ubican en la familia Liliaceae. *Allium sativum* L., se divide en dos subespecies: *Allium sativum sagittatum*, que es el que presenta tallo floral y *Allium sativum vulgare*, sin tallo floral (Pinzón, s. f.).

Según datos obtenidos de USDA, 2000 en la base de datos “National Plant Data Center”, la clasificación taxonómica del ajo es la siguiente:

**Reino** Plantae  
**Subreino** Tracheobionta – Plantas Vasculares  
**Superdivisión** Spermatophyta – Plantas con semilla  
**División** Magnoliophyta – Plantas con Floración  
**Clase** Liliopsida – Monocotiledónea  
**Subclase** Liliidae  
**Orden** Liliales  
**Familia** Liliaceae - Familia Lily  
**Género** *Allium L*  
**Especie** *Allium sativum L.*

## 2.6 Características morfológicas

### Raíz

Sus raíces son fasciculadas, poco ramificadas y alcanzan una profundidad en el suelo de más de 50 cm (Pinzón, s. f.).

### Tallo

El tallo es un disco comprimido de mínimo espesor, situado en la base del bulbo y es el punto de partida de las hojas, bulbillos y las raíces (Pinzón, s. f.).

### Hojas

Las hojas son lanceoladas, elongadas y estrechas, están recubiertas por una espesa capa cerosa que las protege contra hongos fitopatógenos, que también dificulta la acción de los fungicidas. Las plantas generalmente desarrollan de 5 a 6 hojas sin dientes en su base, generalmente llamadas estériles. La primera hoja,

denominada fértil es la sexta o séptima que da origen a los primeros dientes, que suelen ser los de mayor tamaño (Pinzón, s. f.).

### **Flores**

Su tallo floral termina en una inflorescencia llamada umbela de color rosado y fructifica para producir semilla. Las flores se encuentran contenidas en una espata membranosa que se abre longitudinalmente en el momento de la floración y permanece marchita debajo de las flores. Se agrupan en umbelas. Cada flor presenta 6 pétalos blancos, 6 estambres y un pistilo. (Sistema Producto Ajo, 2012).

### **Fruto**

El fruto del ajo es una cápsula, seca, que contiene 1 o 2 semillas por lóculo (Espinoza, 2020).

### **Semilla**

Las semillas son oscuras, de color negro- azuladas, forma de arriñonada o redondeada y aspecto rugoso (Espinoza, 2020). Aunque se han identificado clones fértiles, los bajos porcentajes de germinación de las semillas hace que el ajo se haya definido como un apomítico obligado, término que se refiere a su capacidad para producir embriones sin existir fecundación previa (Sistema Producto Ajo, 2012).

## **2.7 Composición nutrimental**

Contiene una elevada proporción de agua de hasta el 70.3%, además de carbohidratos, fructosa, compuestos azufrados, proteínas, aminoácidos libres, derivados fenólicos y fibra. Tiene distintos elementos como fósforo (P), potasio (K), azufre (S) y zinc (Zn), del mismo modo contiene saponinas, niveles moderados de selenio y vitaminas A y C. En menores cantidades se encuentra el Calcio (Ca),

Magnesio (Mg), Sodio (Na), Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn) y distintas vitaminas del complejo B (Cuadro 2.4).

**Cuadro 2.4 Composición nutricional del ajo (*Allium sativum*)**

<b>Descripción</b>	<b>Por 100 g de porción comestible</b>	<b>Por diente (5 g)</b>
<b>Energía (Kcal)</b>	118	4
<b>Proteínas (g)</b>	5.3	0.2
<b>Lípidos totales (g)</b>	0.3	0
<b>AG saturados (g)</b>	0.05	0
<b>AG monoinsaturados (g)</b>	Tr	Tr
<b>AG poliinsaturados (g)</b>	0.15	0.01
<b><math>\omega</math>-3 (g)</b>	-	
<b>C18:2 Linoleico (<math>\omega</math>-6) (g)</b>	-	
<b>Colesterol (mg/1000 kcal)</b>	0	0
<b>Hidratos de carbono (g)</b>	23	0.9
<b>Fibra (g)</b>	1.1	0
<b>Agua (g)</b>	70.3	2.7
<b>Calcio (mg)</b>	14	0.5
<b>Hierro (mg)</b>	1.5	0.1
<b>Yodo (<math>\mu</math>g)</b>	94	3.6
<b>Magnesio (mg)</b>	25	1
<b>Zinc (mg)</b>	1	0
<b>Sodio (mg)</b>	19	0.7
<b>Potasio (mg)</b>	529	20.1
<b>Fósforo (mg)</b>	134	5.1
<b>Selenio (<math>\mu</math>g)</b>	2	0.1
<b>Tiamina (mg)</b>	0.16	0.01
<b>Riboflavina (mg)</b>	0.02	0
<b>Equivalentes niacina (mg)</b>	1.3	0
<b>Vitamina B6 (mg)</b>	0.38	0.01
<b>Folatos (<math>\mu</math>g)</b>	5	0.2
<b>Vitamina B12 (<math>\mu</math>g)</b>	0	0
<b>Vitamina C (mg)</b>	11	0.4
<b>Vitamina A: Eq. Retinol (<math>\mu</math>g)</b>	Tr	Tr
<b>Vitamina D (<math>\mu</math>g)</b>	0	0
<b>Vitamina E (mg)</b>	0.01	0

Fuente: (Moreiras, et al., 2013)

De los compuestos presentes en el ajo, destacan los azufrados. La mayoría de estos representados por la Aliína (Sulfóxido de S-alil-cisteína), que constituye el principal sustrato para la aliinasa (que se activa a pH entre 4-5, 8) y que una vez liberada se transforma en Alicina (dialiltiosulfonato) (Block, 1985), un compuesto que se obtiene a partir de la molturación o por extracción acuosa, ha demostrado tener atributos para el tratamiento y/o control de enfermedades como diabetes por su actividad antihiperglucemiante (Augusti, 1996), interviniendo también en la formación de plaquetas, actuando como antiagregante, inhibidor de la migración celular por la molécula de adhesión vascular (VCAM-1). Asimismo, se ha puesto de manifiesto que disminuye la inducción de la ICAM-1, tanto la ICAM-1 como la VCAM-1 son glucoproteínas que están implicadas en la aparición y desarrollo de enfermedades autoinmunes (Sela, et al., 2004). Ha mostrado una respuesta positiva en el tratamiento de infecciones por parte de distintos patógenos (bacterias, hongos y virus) como especies de *Escherichia*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Proteus*, *Clostridium*, *Lepptotrichia* y *Micobacterium* (Navarro, 2007).

## **2.8 Fechas de siembra**

El establecimiento de este cultivo en fechas tardías hace que el rendimiento se reduzca sustancialmente; propiciando que la cosecha se retrase y tenga un menor precio en el mercado. Se ha demostrado que las mejores fechas de siembra son entre el 15 de septiembre y 15 de octubre, donde, se han obtenido mayores tamaños y pesos de bulbo, en consecuencia, altos rendimientos, además el número de dientes obtenido por bulbo cumple con los requisitos del mercado. Con solo sembrar en la fecha más apropiada es posible mejorar los rendimientos y calidades del cultivo (Valenzuela *et al.*, 2012). Del 30 de octubre al 15 de noviembre, el tamaño del bulbo disminuyó y los rendimientos bajan significativamente, por lo que los productores deben de evitar dichas fechas de siembra (Valenzuela *et al.*, 2009).

En fechas de siembra tempranas se han obtenido mayores porcentajes de germinación, mayor altura de planta, numero de hojas, peso seco de la planta,

dichos resultados pueden estar relacionados con el efecto de la condición ambiental, ya que las plantas reciben baja temperatura y una duración del día corta, lo que fomenta una mejor germinación y un mejor crecimiento vegetativo. Dicho efecto positivo puede deberse al crecimiento vegetativo mayor y saludable en estas fechas que se ve directamente reflejado en el rendimiento y sus componentes. La fecha de siembra también tiene incidencia en el almacenamiento del ajo, ya que cuando se ha almacenado por más tiempo ha tenido una pérdida menor de peso, lo que podría deberse al aumento de la materia seca de las plantas y al total de sólidos disueltos en los dientes (A El-Morsy *et al.*, 2021).

## 2.9 Demanda hídrica

Tefera y colaboradores (2021), demostraron respecto a la demanda hídrica del ajo que el riego en una mayor frecuencia y con una menor cantidad ayuda a obtener mayores rendimientos y a obtener una mayor eficiencia en el uso del agua ( $\text{kg/m}^3 \text{H}_2\text{O}$ ), que el riego con un intervalo más amplio y una cantidad mayor de agua.

La evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) es la conjunción de la evaporación y transpiración que ocurren en un determinado tiempo durante el desarrollo de cada cultivo, la Figura 2.1 muestra el comportamiento de la  $ET_c$  para el cultivo de ajo (Villalobos *et al.*, 2004). La  $ET_c$  es calculada a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), la ecuación más común para determinar la evapotranspiración de un cultivo es la siguiente:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

El  $K_c$  del cultivo va a variar dependiendo de la época en la que el cultivo es sembrado, estudios han determinado un  $K_c$  máximo que varía de entre 1.2 y 1.3, con el  $K_c$  al final del desarrollo del cultivo alcanzando hasta el 0.6, esto dependiendo

la época de plantación y el lugar donde se está evaluando el cultivo. El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración en el dosel de cultivo. Por lo que se ha encontrado que el ajo llega a tener hasta 420 mm durante todo su ciclo (Villalobos *et al.*, 2004).

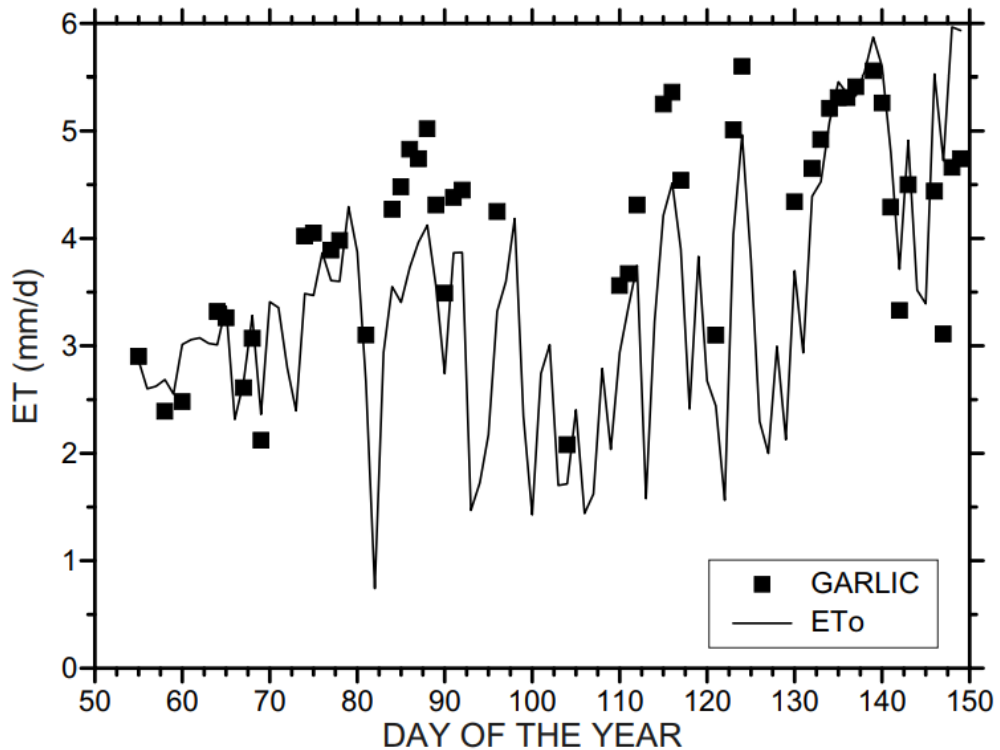


Figura 2.1 Comportamiento de la evapotranspiración del ajo

## 2.10 Requerimientos climáticos y edáficos

No es una planta muy exigente en cuanto a clima, aunque en climas fríos adquiere un sabor más pungente. 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. En pleno desarrollo vegetativo tolera altas temperaturas (por



encima de 40°C) siempre que tenga suficiente humedad en el suelo. Prefiere los suelos arenosos, arcillosos, calcáreos, fértiles, permeables y trabajados profundamente con mucha anticipación a la siembra. El ajo fresco y seco, cosechado alrededor de los 150 días, se conserva en un ambiente frío (Sistema Producto Ajo, 2012).

El bulbo es estimulado por fotoperiodos largos y temperaturas cálidas, siempre que las plantas hayan estado previamente expuestas a bajas temperaturas, ya sea como bulbos almacenados o después de plantar en el campo. Los fotoperiodos más cortos o iguales a 12 horas inhiben la iniciación de la formación del bulbo, independientemente de la temperatura de almacenamiento previa a la siembra. Cuando las plantas se cultivan a las 14 horas, la iniciación del bulbo solo se produce cuando los bulbos reciben temperatura fría (4°C) durante el almacenamiento (Del Pozo y González, 2005). El fotoperiodo largo es obligatorio y cuantitativo para los procesos vegetativos y reproductivos en el ajo, respectivamente. Se ha encontrado que la inducción de la latencia en los dientes requirió la exposición de más de dos semanas al fotoperiodo largo, mientras que un régimen de condiciones frías y del fotoperiodo corto dio lugar a la brotación y al crecimiento de los brotes axilares, y a la carencia de la dormancia (Kamenetsky *et al.*, 2004).

### **2.11 Fertirrigación**

La fertirrigación es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental (Hagin, *et al.*, 2003). Al incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

## 2.11.1 Macronutrientes

### Nitrógeno (N)

Existen tres formas básicas de fertilizantes nitrogenados: 1) Urea: una molécula eléctricamente neutra –  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . 2) Nitrógeno Amoniacal: que lleva una carga eléctrica positiva – catión  $\text{NH}_4^+$ . 3) Nitrato: que lleva una carga eléctrica negativa – anión  $\text{NO}_3^-$ .

La disponibilidad de nitrógeno es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que es un componente importante e indispensable de las moléculas proteicas y de ácidos nucleicos. Es una parte integral de las moléculas de clorofila que son responsables de la fotosíntesis. Un suministro adecuado de nitrógeno se asocia con un crecimiento vegetativo vigoroso y un uso más eficiente del mismo, lo que finalmente conduce a una mayor productividad (Tadesse y Adem, 2014).

Con respecto al cultivo del ajo, su demanda es elevada por parte de la planta, sobre todo en la etapa vegetativa, si se aumenta la dosis de Nitrógeno, el diámetro del bulbo aumenta en su tamaño, significativamente. Del mismo modo, el peso del bulbo aumenta considerablemente a medida que la dosis aumenta. Estudios han demostrado que el uso del Nitrógeno aumenta la eficiencia en el uso del agua, lo que se traduce en un mayor rendimiento del cultivo (Huez *et al.*, 2010). Además del efecto que produce sobre el rendimiento, se ha demostrado que el nitrógeno también tiene una influencia positiva sobre la coloración en algunos cultivares de ajo (Gaviola y Lipinski, 2008).

### Fosforo (P)

Las plantas absorben solo el Fosforo monovalente como  $\text{H}_2\text{PO}_4$  (Marschner, 1995), La mayor disponibilidad de P se encuentra en pH de 5, a medida que el pH va aumentando, la disponibilidad de P disminuye, cambiando la concentración de P

disponible para absorción de monovalente a divalente  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Kafkafi y Tarchitzky, 2012). Es un elemento esencial en la nutrición de la planta, ya que forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), siendo requerido para la realización de procesos fisiológicos y bioquímicos como pueden ser: la transferencia de energía, el metabolismo de las proteínas, así como de otras muchas coenzimas. Además, es muy importante en la formación de las raíces (Ricardo, 2020).

## Potasio (K)

Es un macronutriente esencial. Está presente en la planta como un catión estable ( $\text{K}^+$ ), también está presente en las rocas, suelos y en la solución de suelo, y tiene una carga positiva activa. Los fertilizantes más utilizados para fertirrigación son: cloruro de potasio (KCl), muriato de potasio (MOP), sulfato de potasio (SOP), fosfato monopotásico (MKP) y nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

En ajo, el aumento en la dosis de K en el suelo tiende a generar un aumento en el desarrollo vegetativo de la planta, ocasionando una mayor altura en la planta. La diferencia en dosis también genera una diferencia significativa en la absorción de nutrientes (Cuadro 2.5) por parte del bulbo y de la hoja (Jiku *et al.*, 2020).

**Cuadro 2.5 Efecto de diferentes niveles de K en la absorción de N, P, K, S, Ca, Mg, B y Na por el bulbo y hojas**

Treatment	N ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		P ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		K ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		S ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		Ca ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		Mg ( $\text{mg pot}^{-1}$ )		B ( $\mu\text{g pot}^{-1}$ )		Na ( $\text{mg pot}^{-1}$ )	
	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves	Bulb	Leaves
K0	36.81	31.08	3.533	2.463	52.02	24.62	10.54	2.457	15.35	9.803	5.100	10.97	52.50	27.47	2.510	1.200
K100	46.85	33.67	5.200	2.953	65.38	27.89	13.53	2.810	18.17	11.48	6.653	11.67	62.64	30.81	3.857	1.327
K125	44.67	36.60	5.693	3.297	64.98	30.83	12.21	3.100	16.97	14.14	6.240	12.51	56.91	29.11	3.590	1.590
K150	61.01	38.10	7.717	3.597	84.95	34.38	14.54	3.573	21.21	15.16	7.103	12.83	69.67	30.00	4.840	1.803
K175	73.42	42.60	9.950	4.470	84.01	38.21	14.56	5.520	22.15	16.30	7.347	13.67	69.08	32.73	4.997	2.003
K200	86.72	53.81	12.43	5.940	97.42	50.94	17.91	6.563	26.38	20.39	8.817	15.47	81.02	37.09	6.063	2.660
K250	53.50	41.97	6.767	3.183	68.70	34.86	12.90	5.593	18.73	15.13	5.953	13.58	55.63	32.26	3.720	2.080
LSD	15.31	8.788	1.661	1.145	13.76	5.101	3.872	1.011	4.496	3.927	1.486	3.528	9.476	6.023	0.950	0.376
Significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
CV(%)	10.94	9.11	9.33	12.73	7.66	6.08	11.59	8.75	9.32	11.04	9.07	11.20	6.10	7.90	9.27	8.59

El cultivo de ajo es muy sensible a las deficiencias de potasio en el suelo. Por tanto, su aplicación en la cantidad y en la etapa adecuada es determinante para el incremento del rendimiento y la calidad. Está comprobado que, después del

nitrógeno, el potasio es el elemento que más extrae la planta para su adecuado desarrollo (Ricardo, 2020).

### **Calcio (Ca)**

El Calcio se encuentra ligado a funciones enzimáticas específicas y, debido a que influye en el pH del suelo, tiene relación con los microorganismos y su medio de desarrollo. El efecto del calcio sobre el pH contribuye a la reducción de varias enfermedades del suelo, como las causadas por *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Botrytis*, *Fusarium* y *Phytophthora*, entre otras. Este nutriente también tiene acción inhibitoria contra las toxinas fúngicas (Zanão Júnior *et al.*, 2012).

Cualquier deficiencia de suministro de Calcio a las raíces resulta de la muerte de las células radiculares en la zona de elongación. Ésta es la principal razón de la restricción del crecimiento en los suelos ácidos, así como también de la necesidad de agregar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) o cal agrícola para disminuir la acidez del suelo y promover la proliferación de raíces (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

Cuando las concentraciones de calcio aumentan, el contenido de pigmento y los parámetros fotosintéticos tales como tasa fotosintética ( $P_n$ ), tasa de transpiración ( $E$ ), conductancia estomática ( $G_s$ ) de las hojas de ajo mejoran con el aumento de las concentraciones de calcio. El peso fresco del tallo floral, del bulbo, el diámetro del tallo floral, la velocidad del crecimiento del tallo floral y el diámetro transversal del bulbo aumentaron al principio. Al mismo tiempo, el contenido de alicina, azúcar soluble, vitamina C, aminoácidos libres y proteínas solubles en el bulbo también se mejoran con el aumento de las concentraciones de este nutriente. La deficiencia de Calcio reducirá el contenido de clorofila por área foliar, afectará las actividades de la  $\alpha$ -amilasa y la ATPasa y afectará la hidrólisis del almidón fotosintético. El Calcio en exceso puede inhibir o antagonizar sobre los efectos de otros elementos. La calidad y resistencia al estrés del ajo mejoran con la óptima cantidad de Calcio en la nutrición de la planta. El calcio puede aumentar el contenido de agua de las hojas de las plantas, estabilizar la estructura de la membrana del cloroplasto y fortalecer

la enzima denominada RuBisCO. Tanto el Calcio en exceso como el bajo pueden inhibir el proceso fisiológico, por lo que una cantidad adecuada de Calcio puede mejorar la fotosíntesis de las hojas y mejorar la calidad del bulbo (He *et al.*, 2013).

### **Azufre (S)**

El azufre (S) es un elemento secundario constituyente estructural de compuestos orgánicos, algunos de los cuales son únicamente sintetizados por las plantas, como es el caso de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, requeridos para sintetizar proteínas. Las plantas absorben el azufre en forma de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Kafkafi y Tarchitzky, 2012). Es importante también para algunas vitaminas y coenzimas, y actúan como grupo funcional directamente involucrado en reacciones metabólicas. Tiene funciones que sirven a la planta como sistema de defensa y detoxificación. El azufre es importante en la protección de las células, ya que evita la deshidratación por calor y sequía y también juega un papel en la protección de los daños de las células por frío (INTAGRI S.C., s. f.). En ajo, se ha encontrado que el azufre no incide en los rendimientos del bulbo, pero sí en su calidad y concentración de olor (Ortega Enríquez, s. f.).

Se ha demostrado que la aplicación de Azufre en el suelo, genera un aumento en índices fisiológicos, bioquímicos y calidad nutricional del ajo. Generando que el pigmento fotosintético, y parámetros fotosintéticos ( $P_n$ ,  $E$ ,  $G_s$ ) aumenten. También el contenido de Alicina y azúcar soluble en el bulbo aumentan (Yang *et al.*, 2004)

### **Magnesio (Mg)**

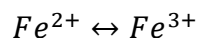
Este elemento ocupa la posición central de la molécula de la clorofila. Así, la síntesis de carbohidratos, proteínas, grasas y vitaminas no puede realizarse sin la presencia de una cantidad suficiente de magnesio, ya que ejerce un papel esencial en la activación de importantes enzimas y en la formación de proteínas. En caso de sufrir deficiencia de magnesio, la síntesis de proteínas puede quedar paralizada, retrasando la planta su crecimiento.

Se han realizado investigaciones en aplicaciones foliares de diferentes tipos de sales de magnesio tales como: Sulfato de Magnesio heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), Nitrato de Magnesio hexahidratado ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) y Cloruro de Magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) sobre el *Allium sativum* L. El mayor número de hojas fue producido por  $MgCl_2$ ; el mayor peso seco de los brotes fue aumentado por  $Mg(NO_3)_2$ , pero la altura más baja de la planta fue producida por  $MgSO_4$ . La aplicación foliar de  $MgSO_4$  y  $Mg(NO_3)_2$  mejoró los componentes de rendimiento como el diámetro y el peso de la cabeza, la producción de bulbos y el número de dientes por cabeza y también mejoró la producción y la calidad del rendimiento del ajo (Al-Barzinji y Naif, 2014).

### 2.11.2 Micronutrientes

#### Fierro (Fe)

La alta afinidad de Fe para formar complejos con varios ligandos (por ejemplo, ácidos orgánicos y fosfatos) y la facilidad de cambio de valencia son las dos características más importantes que forman parte de los numerosos efectos fisiológicos de este nutriente:



En pH ácidos ( $pH < 7$ ) la disponibilidad del fierro aumenta, a medida que estos van aumentando y alcanzando el rango de alcalinidad ( $pH > 7$ ) la disponibilidad de este se ve drásticamente afectada. Se han reportado dos formas en las que las plantas toman el Fe del suelo. En plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas, la deficiencia de Fe estimula la liberación de iones  $H^+$  para aumentar la solubilidad de Fe, aumentando la actividad de ferrireductasa que es responsable de reducir el  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  (Gunshin *et al.*, 1997). En hierbas, la deficiencia de Fe estimula la liberación de aminoácidos no proteicos (Fitometalóforos y/o sideróforos (Lohry, 2007)) que actúan

como quelatos de Fe. Ya quelado, el Fe puede transportarse a través de la membrana como complejo  $\text{Fe}^{3+}$ -fitometalóforo. (Römheld y Marschner, 1990)

Los primeros síntomas visibles de deficiencia de Fe aparecen como clorosis en las hojas jóvenes (Lohry, 2007). En la mayoría de las especies, la clorosis aparece entre las nervaduras en un reticulado fino, sin embargo, las nervaduras permanecen verdes en acentuado contraste con el fondo verde más claro o amarillento del resto del tejido. Las hojas más jóvenes pueden carecer completamente de clorofila. En cereales, la deficiencia de Fe se evidencia por fajas verdes y amarillas alternas. Como el 80% del Fe en las hojas está localizado en los cloroplastos, y este es el sitio primario de las funciones de Fe, no es sorprendente que la deficiencia de este micronutriente cause cambios marcados en la estructura de estos organelos, y en extrema deficiencia, los tilacoides pueden estar ausentes (Kyrkby y Römheld, 2007).

### **Manganeso (Mn)**

Es tomado por las plantas principalmente de forma divalente  $\text{Mn}^{2+}$  (Lohry, 2007) aunque suele encontrarse en sus formas oxidadas como  $\text{Mn}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{4+}$ . Es el micronutriente que mayor relación tiene con los mecanismos de resistencia de las plantas contra patógenos y también tiene relación con la síntesis de compuestos fenólicos y de lignina (Zanão Júnior, 2012). La enzima que rompe la molécula de agua en la fotosíntesis II (FS II) y la superóxido dismutasa contienen Mn (Kyrkby y Römheld, 2007). El Mn se encuentra más disponible en rangos de pH de entre 5 hasta 7 es decir en un pH dentro del rango ácido, cuando el pH aumenta arriba de 7 la disponibilidad se ve drásticamente reducida.

El manganeso ha mostrado aumento en la tasa de germinación del ajo, ha tenido efectos significativos en el aumento del número de dientes y en el peso de estos. El crecimiento radicular también se ha visto beneficiado, aumentando el tamaño y la longitud. También hay evidencia de cambios anatómicos en la planta, incremento en el índice de crecimiento, mayor crecimiento de la epidermis, hipodermis, corteza, periciclo y del haz vascular (Xilema y Floema). El manganeso es un metal esencial

para las plantas, para que estas alcancen un óptimo crecimiento y desarrollo (Arshad, 2021).

## **Zinc (Zn)**

El Zn es un elemento que únicamente se encuentra presente en las plantas como catión divalente  $Zn^{2+}$ , esto quiere decir que no se encuentra sujeto a cambios de valencia (Lohry, 2007). Tiene baja movilidad en las plantas (Zanão Júnior, 2012). Funciona principalmente como catión divalente en metaloenzimas, también forma complejos tetrahídricos con el N y el O, y algunos ligados de S en algunos compuestos orgánicos. El Zn afecta el crecimiento y está presente en enzimas que pueden influenciar en la respiración y en procesos ligados al metabolismo de carbohidratos y proteínas (Lorenzetti *et al.*, 2021). La mayor disponibilidad del Zinc se encuentra dentro de rangos de pH de 5 hasta 7 con una disminución en la disponibilidad aumentando de 7 hasta pH de 9, de la misma forma, si el pH disminuye a menos de 5, se ve afectada la disponibilidad del nutriente.

El Zn, principalmente es absorbido por las raíces en forma de catión divalente  $Zn^{2+}$ . Existen dos estrategias fisiológicas que están involucradas en la absorción de Zn por las plantas, dependiendo de la sustancia secretada por la raíz. La primera, implica la salida de reductos, ácidos orgánicos y iones  $H^+$  que mejoran la solubilidad de los compuestos de Zn como fosfatos de Zn, hidróxidos, entre otros y liberan los iones  $Zn^{2+}$  para absorción por parte de las células epidémicas de la raíz. La segunda estrategia involucra exudados de Fitometalóforos que tienen la capacidad de formar complejos estables de Zn para previamente ingresar a las células epidémicas de la raíz. (Gupta *et al.*, 2016).

Cuando ocurre deficiencia de Zn, la actividad de la enzima anhidrasa carbónica (AC) disminuye, esta enzima es de gran importancia para garantizar una alta tasa de fotosíntesis, ya que se encuentra localizada en el citoplasma de los cloroplastos. Otro síntoma de deficiencia del Zn es la inhibición en la elongación de los internodos

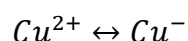


y reducción del tamaño de la hoja, debido a que se altera el metabolismo de la auxina denominada ácido indolacético (AIA) (Kyrkby y Römheld, 2007).

En ajo, el uso de Zinc contribuye a una mayor acumulación de materia seca y también tiene efectos positivos en la comercialización de este, aumentando el tiempo de almacenamiento del bulbo (Yatsenko *et al.*, 2020). Se ha demostrado que el Zinc es responsable de un tamaño más grande del bulbo. Este hecho se debe a la mejora de las actividades fisiológicas como la fotosíntesis durante la cual los alimentos fabricados por la planta son translocados en el bulbo. El Zinc ayuda en el desplazamiento de componentes de un lugar a otro. El uso de este nutriente aumenta marcadamente el número de dientes por el bulbo y el peso de estos. La mejora en el peso y el número de dientes podría deberse a la rápida transformación y almacenamiento del material alimenticio en el bulbo. La mejora del crecimiento vegetativo de las plantas y el rendimiento debido a la aplicación de zinc también tiene relación directa en la mejora del desarrollo del bulbo y en el rendimiento del cultivo (Chanchan *et al.*, 2013).

### **Cobre (Cu)**

El Cu forma quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones:



Desempeña un papel parecido al Fe, en los procesos redox de la fisiología de la planta. Las enzimas que contienen Cu reaccionan con oxígeno molecular y catalizan preferentemente procesos terminales de oxidación, a diferencia del Fe. Proteínas que contienen Cu, desempeñan un papel fundamental en procesos tales como fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales superóxido y lignificación. (Zanão Júnior, 2012) Con deficiencias de Cu, la actividad enzimática se ve drásticamente reducida, del mismo modo el transporte fotosintético de electrones se ve reducido debido a que proteínas como la plastocianina disminuye en su

concentración en la planta lo que ocasiona una disminución en la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis, por lo que el contenido de almidón y carbohidratos se ve reducido (Kyrkby y Römheld, 2007). El comportamiento del Cu en función del pH es similar al que tiene el Zinc, su mayor disponibilidad se da en pH dentro de 5 a 7.

Los síntomas por deficiencia de cobre suelen ser hojas cloróticas o de color azul verdoso con márgenes enrollados, la corteza de árboles es áspera y ampollada y la goma puede exudar fisuras en la corteza, muerte de brotes jóvenes, floración y fructificación puede no ocurrir en plantas anuales y crecimiento atrofiado (Lohry, 2007). Las deficiencias de Cu están asociadas con suelos ricos en materia orgánica (MO), y con suelos minerales altamente desgastados. Las deficiencias en las plantas producen coloración y desarrollo anormal, disminución en la calidad de la fruta y grano y disminución en rendimientos (Berger, 1965).

Se han realizado diversos tratamientos a semillas para subsanar problemas de deficiencia de tratamiento, en los cuales se ha logrado un incremento en los rendimientos de cultivos. También se han tenido mejorías en las aplicaciones de Cu cuando se han utilizado fertilizantes NPK, lo que indica que estos tienen una influencia positiva en la asimilación de Cobre. El tratamiento a la semilla incrementó la proteína del grano y el almidón, así mismo como el rendimiento (Gnilitskaya, 1967).

Se ha demostrado que el uso de CuSO<sub>4</sub> ha aumentado el rendimiento en cebollas (*Allium cepa*). También ha aumentado el contenido de Cu en la vaina como en el bulbo, lo que se traduce como un aumento en la asimilación de Cu. Se han encontrado atributos que demuestran una mejor calidad de esta, con un aumento en los sólidos solubles totales, ácido ascórbico y acidez titulable en el bulbo de la cebolla (Jegadeeswari *et al.*, 2020).

Es importante tener un control en las aplicaciones de Cu, ya que cuando son superiores a las necesarias, se puede llegar a tener toxicidad en las plantas. Se ha demostrado que la toxicidad del Cu era una de las principales causas de clorosis

provocada por Fe. Las toxicidades de Cu pueden ser relacionadas a los efectos de Cu en la captación y utilización de otros elementos por las plantas. Se han observado interacciones entre P y Cu, en los cuales el P redujo la toxicidad de Cu (en exceso) e inclusive hubo un incremento en el crecimiento de la planta. Altos niveles de Cu en el suelo reducen la asimilación de P y la concentración de Fe en hojas y raíces (Spencer, 1966).

### **Boro (B)**

Funciona principalmente en la diferenciación de las células del meristemo. Su función principal tiene que ver con la estructura de la pared celular y las sustancias asociadas con ella. Se encuentra presente en soluciones con pH menor a 8 principalmente como ácido bórico ( $B(OH)_3$ ), que es la forma en la que las raíces lo absorben (Lohry, 2007). Las funciones en las que se participa el Boro incluyen el transporte de azúcares, lignificación de la pared celular, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del ARN, respiración, metabolismo del AIA, metabolismo de los fenoles, función de la membrana, fijación de  $N_2$ , metabolismo del ascorbato y disminución de la toxicidad del Al (Kyrkby y Römheld, 2007).

La intervención del B en la germinación del polen y en el crecimiento del tubo polínico son particularmente importantes para la producción de los cultivos. Ambos procesos se inhiben severamente cuando existe deficiencia de B. Son necesarias altas concentraciones de B para promover el crecimiento del tubo polínico en el estigma y en el estilo, esto se logra por la desactivación fisiológica de la calosa mediante la formación de borato de calosa en la interfase del tubo polínico con el estilo (Lewis, 1980).

## 2.12 Humatos

Las sustancias húmicas se pueden definir como: ácidos orgánicos de colores, poli electrolíticos, resinas de intercambio iónico de base débil o un procedimiento comparable. Son no volátiles y varían en peso molecular de 500 a 5,000. Los principales grupos funcionales incluyen: ácidos carboxílicos, hidroxilo fenólico, carbonilo y grupos hidroxilo. Dentro de las sustancias húmicas hay dos fracciones, que son el ácido húmico y el ácido fúlvico. El ácido húmico es aquella fracción que precipita a pH 2,0 o menos, y el ácido fúlvico es aquella fracción que permanece en solución a pH 2,0 o menos (Thurman, 1985).

De acuerdo con Rice y Maccarthy (1991), las medias de su composición elemental son de aproximadamente 55.1 % de carbono, 5 % de hidrógeno, 35.6 % de oxígeno, 3.5 % de nitrógeno, y menos de 1.8 % para azufre más fósforo. La relación O/C 0.50 porcentaje atómico y la relación H/C 1.10 porcentaje atómico.

La presencia de grupos carboxílicos y fenólicos da a los ácidos húmicos la capacidad de formar complejos con iones como  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ . Muchos ácidos húmicos tienen dos o más de estos grupos dispuestos de tal manera que permite la formación de complejos quelados (Mahler *et al.*, 2021).

Los ácidos húmicos tienen diferentes efectos en los suelos tales como: Mejora de la estructura del suelo, aumento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aumento en la capacidad de retención de agua y solución de suelo, amortiguación de pH alto, aumento en desarrollo radicular de plantas, permitiendo mayor aireación (JILOCA industrial, 2021).

También tienen efectos positivos en las plantas como lo son: Estimulación de las membranas celulares, actividades metabólicas y su germinación, aumento de capacidad de absorción de nutrientes, incremento en la fotosíntesis y por lo tanto un aumento en el vigor de la planta y la productividad de esta. Asimismo, se ha demostrado un aumento en la materia seca de los frutos, mejora de factores

organolépticos (color, olor, sabor y textura), conservación y transporte (JILOCA industrial, 2021).

Los efectos de los ácidos húmicos en los procesos bioquímicos de las plantas son los siguientes: Como influye en la permeabilidad de las membranas y el transporte de iones por medio de proteínas ocasiona una más rápida entrada de nutrientes en la raíz, activación de la respiración y del ciclo de Krebs ocasionando un incremento en la producción de ATP, aumento en el contenido de clorofila y fotosíntesis, aminoácidos, carbohidratos y proteínas, aumento en la síntesis de ácidos nucleicos, aumento en la cantidad de enzimas y su actividad, transporte de iones y producción de proteínas estructurales (Vaughan *et al.*, 1985).

Se ha demostrado que el uso de ácidos húmicos en el cultivo de ajo, ha generado un aumento significativo en las concentraciones de ciertos nutrientes como Mg, P, Zn, Ca, Fe y S, lo que indica un aumento en la asimilación de nutrientes del suelo por parte de la planta. También se ha encontrado que el uso de estos productos ha aumentado la pungencia del ajo (Denre *et al.*, 2014). El ácido húmico también genera un aumento en la actividad de antioxidantes del ajo, contenido de fenoles, de flavonoides, alicina y compuestos sulfurados (Ghasemi *et al.*, 2015). En el peso y el diámetro de los bulbos también se han registrado aumentos positivos con el uso de ácidos húmicos (Abdel-Razzak y El-Sharkawy, 2013).

### **2.13 Plagas y Enfermedades**

La principal plaga que ataca al cultivo de ajo son los trips, como lo son el trips de la cebolla (*Thrips tabaci* Lind.) y el trips occidental de las flores (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Estos insectos se alimentan de la savia de las plantas, provocando deformidades. El crecimiento de las plantas se detiene, ocasionando la pérdida de hojas (Reveles *et al.*, 2014) y ocasionando la entrada de patógenos como el virus de la mancha amarilla de la cebolla (Velásquez V. *et al.*, 2010).

Las principales enfermedades del ajo en Zacatecas son de origen subterráneo, y suelen ser las siguientes:

**Pudrición por *Penicillium*.** Es causada por el hongo *Penicillium spp.*, que puede provocar la muerte de plántulas, aunque su efecto puede darse también bajo condiciones de almacenamiento de los bulbos. Esta enfermedad se puede distinguir por la presencia de un algodoncillo color verde – azulado. Se da en condiciones de alta humedad, por causa de riegos excesivos, rocío o lluvias, en especial durante la época invernal (Velásquez V. y Medina A., 2004, 2007).

**Pudrición Blanca.** Es la enfermedad más destructiva en el estado de Zacatecas, causada por el hongo *Sclerotium cepivorum* Berk., se caracteriza por mostrar moho blanco alrededor y encima del bulbo (Reveles *et al.*, 2014). En plantas afectadas, se puede observar una coloración amarillenta en las hojas más viejas y que después puede aparecer en las hojas jóvenes presentando un color verde opaco en el centro de la planta (Velásquez V. y Medina A., 2004).

**Pudrición por *Fusarium*.** Es ocasionada por *Fusarium spp.* y puede provocar pérdidas de hasta el 40% de la población de plantas. Los síntomas en plantas adultas pueden observarse como deformaciones, amarillamiento y necrosis de las hojas (Velásquez V. y Amador R., 2009).

**Pudrición por nemátodos.** Es causada por el nemátodo *Ditylenchus dipsaci* Kühn, ocasiona la pudrición de los bulbos de ajo. Los síntomas presentados suelen ser: hojas color amarillento que al avanzar el ataque toman coloración café, engrosamiento del tallo, destrucción de raíces y deformación del bulbo (Velásquez V. y Amador R., 2009).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Sitio experimental**

El experimento fue realizado en el estado de Zacatecas, en el rancho de nombre "San Martín" ubicado en el municipio de Guadalupe. Las coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal Mercator) son las siguientes: 779,493.03 m E y 2'549,767.17 m N, a una elevación de 2000 m.s.n.m. Durante el experimento no se registraron lluvias y las temperaturas oscilaron entre -6.5 °C y 33.4 °C.

#### **3.2 Características del sitio experimental**

La temperatura media anual oscila entre los 12.4 °C y los 20.3 °C, llegando a alcanzar mínimos de hasta -12°C y máximos de hasta 35.5 °C. La precipitación promedio es de 455.6 mm\*año<sup>-1</sup>, el promedio de días con lluvia durante el año es de 65.

#### **3.3 Suelo**

El suelo es de textura franco, con bajos contenidos de materia orgánica. Se alcanzó a observar una capa superior blanca, lo que indica la presencia de sales.

Se tomaron 6 muestras de suelo con una barrena a una profundidad de 30 cm, utilizando la metodología de zig zag para tomar cada una de las muestras, se pusieron a secar las muestras durante un día y, posteriormente se mezclaron para obtener una sola muestra homogénea con un peso de un kilogramo de suelo. Esta muestra se analizó mediante un análisis fisicoquímico en el laboratorio Fertilab

(Fertilidad de Suelos S. de R. L.) ubicado en la ciudad de Celaya, Guanajuato (México). Los datos obtenidos se encuentran en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Análisis de suelo del área experimental**

<b>Propiedades físicas y químicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tipo de suelo</b>	Franco	
<b>Punto de saturación</b>	30	%
<b>CC</b>	15.8	%
<b>PMP</b>	9.4	%
<b>Conductividad Hidráulica</b>	6.7	cm*hr <sup>-1</sup>
<b>Densidad</b>	1.06	g*cm <sup>-3</sup>
<b>pH</b>	8.11	
<b>Conductividad eléctrica</b>	1.32	dS*m <sup>-1</sup>
<b>Materia orgánica</b>	1.44	%
<b>Azufre disponible</b>	97.4	ppm
<b>Fierro disponible</b>	2.46	ppm
<b>Manganeso disponible</b>	3.62	ppm
<b>Zinc disponible</b>	1.6	ppm
<b>Cobre disponible</b>	0.88	ppm
		meq/100 gr de
<b>CIC</b>	27.3	<b>suelo</b>

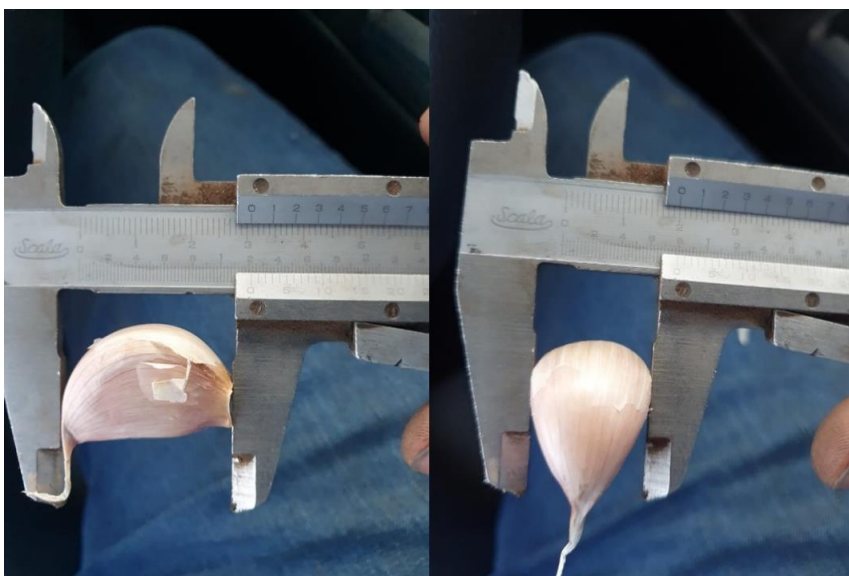
CC = Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, ppm = Partes por millón, CIC = Capacidad de intercambio catiónico,

### 3.4 Material vegetativo

Semilla del #2 de *Allium sativum L. var. Jaspeado*, la determinación de este tamaño de semilla agrícola, se realiza con el uso de cribas, las medidas para este tamaño de semilla fueron las siguientes: Largo = 3.1 cm, ancho = 2 cm (Figura 3.1). Esta variedad presenta una alta resistencia al frío y a la salinidad, produce flor y semilla, aunque la calidad del cultivo al sembrar la semilla producida por la flor se ve



drásticamente reducida, debido a que la planta de manera natural tiene que atravesar por un periodo de juvenilidad que generalmente es de hasta 5 meses para que la planta adquiera una condición de madurez e inicie el proceso de formación y diferenciación de la cabeza de ajo, además de que existe una amplia variabilidad genética por lo que la diversidad que se obtiene en el producto es alta (Segregación genética), condición indeseable para el mercadeo y esta técnica de reproducción, generalmente es usada para procesos de mejoramiento genético y no para procesos de producción.



**Figura 3.4 Largo del diente utilizado para la siembra (a), ancho del diente utilizado para siembra (b)**

### **3.5 Preparación del terreno**

Se realizó trabajo de subsuelo, con la finalidad de mejorar la estructura del suelo, ya que esta se pierde debido a la compactación ocurrida por el paso de tractores, medios de transporte e inclusive por el paso de personas en el momento de la cosecha, deshierbe, y/o labores culturales que se realicen, al mejorar la estructura del suelo se obtienen mejores respuestas por parte del suelo a la infiltración del agua de lluvia y riego, mejor drenaje y desarrollo radicular, lo cual influye en la

aireación de las capas de suelo. Previo al uso del subsuelo se utilizó la rastra agrícola, con la finalidad de eliminar residuos de otras plantas o cultivos, romper agregados de suelo e incorporar abonos orgánicos.

Previo a estos trabajos se realizó una nivelación del terreno para tener una eficiente aplicación de yeso agrícola en dosis de  $2 \text{ t} * \text{Ha}^{-1}$  y para tener un mejor control de la irrigación al cultivo, el yeso se utiliza como una práctica común por los agricultores previo a la siembra del cultivo, con la finalidad de mejorar la estructura del suelo, bloquear los posibles rastros de Sodio (Na) que pueda contener el suelo y mejorar la infiltración. Para incorporar el yeso agrícola se realizó otro labor de rastreo en el área de cultivo, para posteriormente realizar la siembra.

### **3.6 Establecimiento de la parcela experimental.**

Se realizó el marcado de camas de 48 metros de largo y 1.83 metros de ancho con 6 hileras de dientes con el uso de una sembradora de ajo. Durante el marcado, se colocaron 3 cintillas para riego de la marca Toyo de 1.0 lph de 16 mm, calibre 6 mil, con espaciamiento entre gotero a cada 30 cm.

### **3.7 Siembra**

La siembra se realizó de forma manual con semilla de ajo del #2. Se tuvieron 3 fechas distintas, el 20 de septiembre del 2020, el 04 de octubre del 2020 y el 25 de octubre del 2020, se sembraron 6 hilos por cama con una separación 22 cm por cada hilo, colocando una semilla cada 7 cm a lo largo de toda la cama, a una profundidad de 2 cm, resultando una población de  $426,230 \text{ plantas} * \text{Ha}^{-1}$ . La siembra se realizó en seco.

### **3.8 Fertilización**

La fertilización de microelementos se realizó de acuerdo a los tratamientos establecidos para esta investigación, los fertilizantes utilizados fueron: Sulfato de Ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), con una composición del 21% de Hierro y 11% de Azufre (S), Sulfato de Manganeso ( $\text{MnSO}_4$ ), cuya composición es del 32% de Mn y el 19% de S, Sulfato de Zinc monohidratado en polvo ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), cuya composición consta de 34.21% de Zn, 17.14 % de S y una pequeña cantidad de 0.13 % de Fe, Sulfato de Cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), con una composición del 25 % de Cu y 12.84% de S.

### **3.9 Riego**

El riego fue por goteo y se realizó según las condiciones del suelo y los requerimientos que fue teniendo el cultivo a lo largo de su desarrollo y crecimiento.

### **3.10 Control de plagas y enfermedades**

Durante el desarrollo del cultivo se presentó la plaga del trips, que fue tratada con Morgan® que contiene lambda cyhalotrina, siguiendo la dosis recomendada por el distribuidor de  $500 \text{ ml} \cdot \text{Ha}^{-1}$ . Se realizaron aplicaciones biológicas preventivas de *trichoderma harzianum*, *Bacillus upitilis* y *Paecilomyces* para control de enfermedades como la pudrición por Fusarium, pudrición por Penicillium y pudrición blanca. Se presentó la pudrición blanca, la cual fue tratada con fungicidas como Folicur® con dosis de  $1 \text{ l} \cdot \text{Ha}^{-1}$ .

### **3.11 Preparación de soluciones madre**

Se utilizó la metodología de preparación de soluciones madre, de manera que se añadieron los fertilizantes en la suficiente agua para cada una de las soluciones madres de la siguiente forma:

### **Solución madre #1:**

Sulfato de Ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), se agregaron 434 g de S de Fe \* L-1.

### **Solución madre #2:**

Sulfato de Manganeso ( $\text{MnSO}_4$ ), se agregaron 137 g de S de Mn \* L-1 .

### **Solución madre #3:**

Sulfato de Zinc monohidratado en polvo ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

### **Solución madre #4:**

Sulfato de Cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), se agregaron un total de 26 g de S de Cu \* L-1.

## **3.12 Ácidos húmicos**

Humatos, extraídos a partir de leonardita, se utilizaron en presentación líquida y son producidos por la empresa TRADEK S.A de C.V.

## **3.13 Preparación de soluciones nutritivas**

Las diferentes dosis de fertilizantes utilizadas durante el experimento se pueden observar en el Cuadro 3.2. Se tomó en cuenta el análisis de suelo para poder realizar los cálculos para la obtención de la cantidad de fertilizante que se va a utilizar en cada tratamiento.

### **Cuadro 3.2 Dosis de micronutrientes utilizadas durante el experimento**

	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Variable
Dosis Baja	5	3	1.5	0.5	B <sub>1</sub>

<b>Dosis Media</b>	10	6	3	1	B <sub>2</sub>
<b>Dosis Alta</b>	20	12	6	2	B <sub>3</sub>
<b>Sin micronutrientes</b>	0	0	0	0	B <sub>0</sub>

Se realizaron aplicaciones de micronutrientes y humatos cada 15 días según lo requerido para cada tratamiento. La primera aplicación se realizó el 22 de noviembre del 2020 y la última el 11 de abril del 2021. Se realizaron 48 tratamientos a base de fertilizantes inorgánicos combinados con ácidos húmicos, cada tratamiento se diluyó para su aplicación en 3 litros de agua (Cuadro 3.3).

**Cuadro 3.3 Dosis utilizada para la preparación de cada tratamiento**

<b>Tratamiento</b>	<b>SM1 (cc/3L)</b>	<b>SM2 (cc/3L)</b>	<b>SM3 (cc/3L)</b>	<b>SM4 (cc/3L)</b>	<b>Humatos (ml * L)</b>
<b>1</b>	10	10	10	10	0
<b>2</b>	10	10	10	10	0.1
<b>3</b>	10	10	10	10	0.25
<b>4</b>	10	10	10	10	0.5
<b>5</b>	20	20	20	20	0
<b>6</b>	20	20	20	20	0.1
<b>7</b>	20	20	20	20	0.25
<b>8</b>	20	20	20	20	0.5
<b>9</b>	40	40	40	40	0
<b>10</b>	40	40	40	40	0.1
<b>11</b>	40	40	40	40	0.25
<b>12</b>	40	40	40	40	0.5
<b>13</b>	0	0	0	0	0.1
<b>14</b>	0	0	0	0	0.25
<b>15</b>	0	0	0	0	0.5
<b>16</b>	0	0	0	0	0
<b>17</b>	10	10	10	10	0
<b>18</b>	10	10	10	10	0.1
<b>19</b>	10	10	10	10	0.25
<b>20</b>	10	10	10	10	0.5
<b>21</b>	20	20	20	20	0
<b>22</b>	20	20	20	20	0.1
<b>23</b>	20	20	20	20	0.25
<b>24</b>	20	20	20	20	0.5

<b>25</b>	40	40	40	40	0
<b>26</b>	40	40	40	40	0.1
<b>27</b>	40	40	40	40	0.25
<b>28</b>	40	40	40	40	0.5
<b>29</b>	0	0	0	0	0.1
<b>30</b>	0	0	0	0	0.25
<b>31</b>	0	0	0	0	0.5
<b>32</b>	0	0	0	0	0
<b>33</b>	10	10	10	10	0
<b>34</b>	10	10	10	10	0.1
<b>35</b>	10	10	10	10	0.25
<b>36</b>	10	10	10	10	0.5
<b>37</b>	20	20	20	20	0
<b>38</b>	20	20	20	20	0.1
<b>39</b>	20	20	20	20	0.25
<b>40</b>	20	20	20	20	0.5
<b>41</b>	40	40	40	40	0
<b>42</b>	40	40	40	40	0.1
<b>43</b>	40	40	40	40	0.25
<b>44</b>	40	40	40	40	0.5
<b>45</b>	0	0	0	0	0.1
<b>46</b>	0	0	0	0	0.25
<b>47</b>	0	0	0	0	0.5
<b>48</b>	0	0	0	0	0

### **3.14 Cosecha y postcosecha**

La cosecha se realizó el día 7 de mayo, por cada Tratamiento se cosecharon al azar un total de 90 ajos, 30 ajos por cada repetición. La cosecha de ajo se realizó al azar, es decir, no se buscaron plantas con ciertas características, con el fin de no afectar el experimento.

Se realizó la limpieza de ajos, la cual consistió en cortar la raíz del bulbo, eliminar las hojas o capas protectoras del bulbo que están dañadas y/o sucias por partículas de suelo o por causa de la lluvia que suele afectar y generar manchas en el bulbo. Se cortó el tallo, dejándolo a 1 cm de largo a partir del bulbo. La limpieza fue

realizada como si el producto fuese a ser llevado a venta o comercialización en algún mercado. Previo a este labor, se realizaron las mediciones respectivas para cada tratamiento.

### 3.15 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó es el de bloques al azar con arreglo factorial, se seleccionó este diseño debido a que no existe homogeneidad (Campo abierto) en las condiciones del suelo en que se realizará el experimento, se utilizó arreglo factorial AXBXC (3x4x4), dando de esta forma 48 tratamientos (Apéndices, Cuadro 7.1), con tres repeticiones cada uno, lo que arrojó un total de 144 unidades experimentales.

Los datos obtenidos por las mediciones se analizaron con el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System), de la North Carolina State University. Se utilizó prueba de medias de Tukey con un nivel de  $P = 0.05$ .

#### 3.15.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + r_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$\mu$  = Media general de los tratamientos,  $\alpha_i$  = Efecto de la fecha de siembra,  $\beta_j$  = Efecto de las dosis de fertilización,  $\gamma_k$  = Efecto de las dosis de humatos,  $\alpha\beta_{ij}$  = Respuesta de la interacción de las variables fechas de siembra con la variable dosis de fertilización,  $\alpha\gamma_{ik}$  = Respuesta de la interacción de la variable fechas de siembra con la variable dosis de fertilización,  $\beta\gamma_{jk}$  = Respuesta de la interacción de la variable dosis de fertilización con la variable dosis de humatos,  $\alpha\beta\gamma_{ijk}$  = Respuesta de la interacción de la variable fechas de siembra, con las variable dosis de fertilización y de humatos,  $r_l$  = Influencia de las repeticiones,  $\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

### **3.16 Descripción de los factores**

#### **3.16.1 Factor A (Fechas de siembra)**

Las tres fechas de siembra, con su respectiva identificación y numeración de factor son las siguientes:

$A_1 = 20/09/2020$

$A_2 = 04/10/2020$

$A_3 = 25/10/2020$

#### **3.16.2 Factor B (Dosis de micronutrientes)**

La dosis de micronutrientes utilizados en el experimento fueron las siguientes:

$B_0 =$  Sin micronutrientes.

$B_1 =$  Dosis baja de micronutrientes.

$B_2 =$  Dosis media de micronutrientes.

$B_3 =$  Dosis alta de micronutrientes

#### **3.16.3 Factor C (Dosis de humatos)**

Las dosis empleadas en el experimento fueron las siguientes:

$C_0 =$  Sin Humatos

$C_1 =$  Dosis baja de humatos.

$C_2 =$  Dosis media de humatos.



C<sub>3</sub> = Dosis alta de humatos.

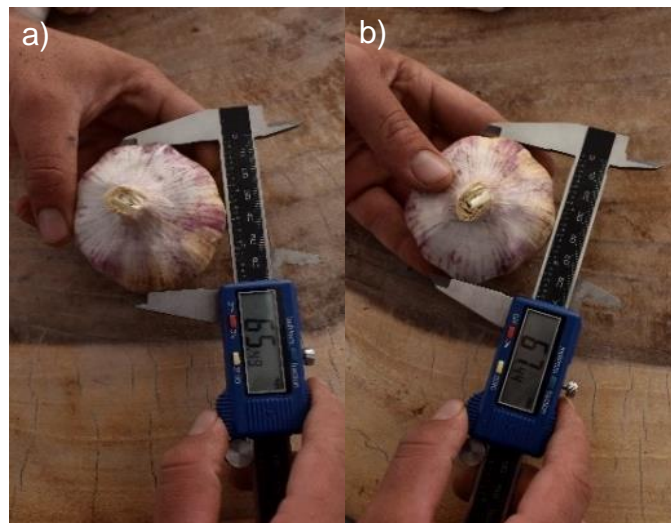
### 3.17 Variables evaluadas

#### **Diámetro del bulbo (Polar y ecuatorial)**

La medición del diámetro polar se realizó midiendo la parte más larga del bulbo, con el uso de un Vernier electrónico, los datos fueron tomados en mm (Figura 3.2 a).

La medición del diámetro ecuatorial se realizó a 90° a partir de donde se realizó la medición del diámetro polar, con el uso del Vernier electrónico en mm (Figura 3.2 b).

Las mediciones realizadas con el Vernier fueron en milímetros, pero se reportaron en cm.



**Figura 3.8 Medición del diámetro polar (a) y diámetro ecuatorial (b) del bulbo**

### **Perímetro del bulbo**

La medición del perímetro del ajo se realizó con una cinta métrica, la medición se realizó de la parte más prominente del ajo (Figura 3.3). La medición se tomó en centímetros.



**Figura 3.9 Medición del perímetro del bulbo del ajo**

### **Peso del bulbo**

La medición de esta variable se realizó con una báscula de joyero, la cual nos da datos de gramos con valores de hasta 3 dígitos, Figura 3.4. La medición se reportó en gramos.



**Figura 3.10 Medición del peso del bulbo del ajo**

### **Número de dientes**

Se desgranaron 5 bulbos de ajo al azar de cada repetición, se realizó un conteo del número de dientes de cada bulbo (Figura 3.5)



**Figura 3.11 Metodología para la medición del número de dientes**

### **Ajo bombón**

Este tipo de ajo es aquel en el que no ocurre diferenciación, por lo que no existe la formación de los dientes en el bulbo, por lo que este toma la forma de una cebolla. La identificación de esta afectación se hizo de forma visual o de forma táctil, en el que al tocar un bulbo se siente acuoso y no se siente desarrollo de dientes, se reportó en porcentaje.

### **Peso medio de dientes**

Esta fue una medición se realizó con una simple operación matemática, dividiendo el peso total del bulbo entre el número de dientes obtenidos para cada tratamiento.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para cada variable de la presente investigación se encuentran plasmados en el Cuadro 4.1, en este se muestran las diferentes Fuentes de Variación (FV), los grados de libertad (GL) que tiene cada factor, los valores de los cuadrados medios y si existió estadísticamente alguna diferencia significativa.

**Cuadro 4.1 Concentración de datos de cuadrados medios**

FV	GL	DB	PB	PDB	ND	BOM	PMD
Rep.	2	0.091 NS	0.228 NS	12.588 NS	0.319 NS	21.052 NS	0.052 NS
A	2	4.288 **	40.822 **	4,499.4 **	1.361 NS	595.52 **	22.53 **
B	3	0.356 **	4.138 **	293.3 **	4.681 **	179.93 **	0.476 *
C	3	0.121 NS	0.188 NS	10.279 NS	0.028 NS	35.106 NS	0.08 NS
A * B	6	0.158 **	0.869 **	69.62 **	3.142 **	64.529 **	0.333 *
A * C	6	0.01 NS	0.223 NS	21.501 NS	0.578 NS	69.327 **	0.193 NS
B * C	9	0.06 NS	0.227 NS	11.595 NS	1.385 NS	54.511 **	0.124 NS
A * B * C	18	0.052 NS	0.309 *	17.375 NS	1.26 NS	37.923 *	0.143 NS
Error	94	0.049	0.174	11.709	0.776	19.019	0.124
CV		4.051	2.472	6.339	6.675	84.873	8.599

FV = Fuente de Variación, GL = Grados de Libertad, DB = Diámetro del bulbo, PB = Perímetro del bulbo, PDB = Peso del bulbo, ND = Número de dientes, BOM = Bombón, PMD = Peso medio de dientes, Rep. = Repetición, CV = Coeficiente de Variación, NS = No significativo, \*\* = Altamente significativo, \* = Significativo

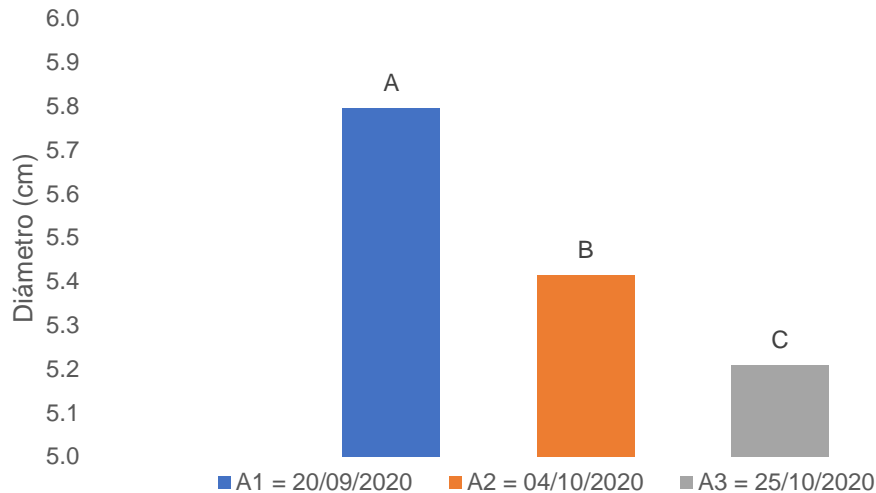
### 4.1 Diámetro del bulbo

Es una variable importante, debido a que tiene incidencia en la clasificación del bulbo del ajo, para la venta comercial del producto, las clasificadoras convencionales de ajo utilizan mallas o cribas, donde los bulbos caen y son seleccionados según el tamaño que tengan y transportados en la banda, donde es colocado en la caja de empaque. La calidad del ajo depende del tamaño del

bulbo, ya que, mientras el diámetro del ajo sea mayor, mayor es la calidad comercial y esto, se puede traducir a una ventaja económica, ya que el precio del ajo depende directamente del tamaño en que se encuentra clasificado, como la mayoría de los productos agrícolas. Se puede decir que el precio del ajo es proporcional al diámetro de los bulbos, por lo que un diámetro mayor se traduce a un mejor precio comercial.

Al analizar los datos obtenidos, se encontró una diferencia estadística altamente significativa para el factor A (fechas de siembra), lo que indica que la selección de la fecha correcta de siembra va a tener un efecto positivo o negativo en el diámetro del bulbo, lo que se traduce a un aumento o una disminución en la calidad del producto. Se encontró que la mejor fecha de siembra para obtener un mayor diámetro en el bulbo fue la del A<sub>1</sub> (20 de septiembre del 2020) = 5.795 cm (A), seguido por la del A<sub>2</sub> (4 de octubre del 2020) = 5.414 cm (B), alcanzando los diámetros más pequeños en A<sub>3</sub> (25 de octubre del 2020) = 5.209 cm (C) (Figura 4.1). El diámetro disminuye hasta en un 6.57 % para A<sub>2</sub>, con respecto a la fecha de siembra A<sub>1</sub> (100%), y hasta 10.11 % para A<sub>3</sub>. Dicha información coincide con la reportada por (Valenzuela Cornejo *et al.*, 2012) citando que la selección apropiada de la fecha de siembra para este cultivo define el tamaño y calidad del bulbo y esta debe de ser en el mes de septiembre, (Shahidur *et al.*, 2004) coincide con que fechas de siembra tempranas producen un mayor diámetro del bulbo. Esto puede ser debido a que las plantas tienen un mayor periodo de horas frío o al fotoperiodo en el que estuvieron sometidas las plantas, también puede ser debido a que la cantidad de azúcares producidos por la planta son mayores, la planta produce mayor cantidad de fotosintatos debido a un aumento en la tasa fotosintética (JIAN-LONG *et al.*, 2005), a que los nutrientes absorbidos del suelo pueden ser en mayor cantidad o menor, dependiendo de la fecha y el desarrollo que pueda tener el cultivo (Sandhu *et al.*, 2014) y a que la planta tiene la capacidad de producir una mayor cantidad de proteínas causado por un aumento en la absorción de nutrientes como lo es el N (Farag y El-Zohiri, 2014). Esta información difiere con lo presentado por (M Osman y Rizk, 2018) donde la fecha

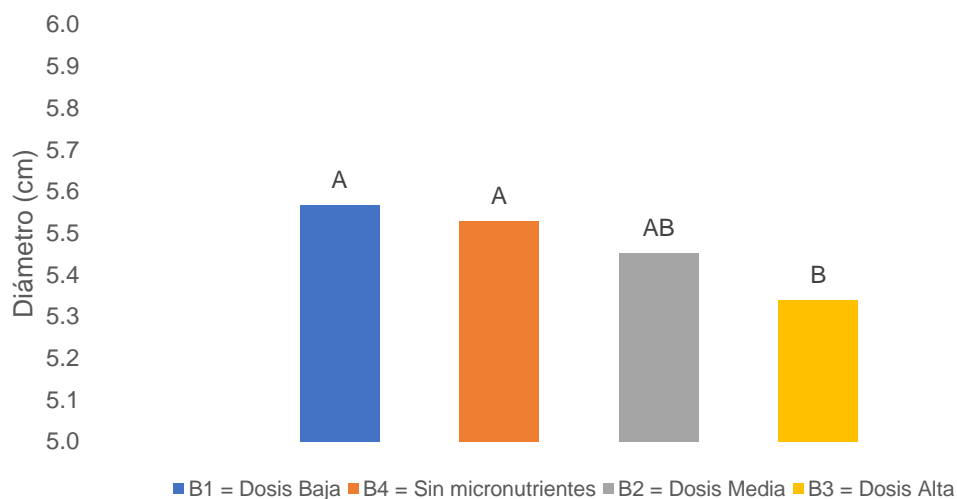
más apropiada para la siembra ocurre en el mes de octubre, donde se obtuvo el mayor diámetro de bulbo, esto quizás es debido a la localización del experimento, realizado en Kaha Vegetable Research Farm, en Egipto.



**Figura 4.1 Influencia de la fecha de siembra sobre el diámetro (cm) del bulbo**

En lo que respecta al factor B (Dosis de fertilización de elementos menores), se encontró diferencia estadística altamente significativa (Figura 4.2), lo que indica que el manejo nutricional en cuanto a las dosis de micronutrientes aplicadas al suelo tiene mucha importancia para el aumento en la calidad del producto cosechado. Esta información coincide con la reportada por (Ballabh *et al.*, 2013; Carbajal Choquehuanca, 2018; Pooja *et al.*, 2015; Pramanik, 2015; Ramírez, 2014; Yousuf *et al.*, 2016) en la que se demostró que el uso de micronutrientes aumenta el diámetro del bulbo, estos resultados muestran el papel que juegan los micronutrientes tanto para el desarrollo de la planta, como para el rendimiento y calidad del bulbo, obteniendo en estas un aumento en el diámetro (calidad). El diámetro del bulbo aumentó de acuerdo con cada dosis de los elementos menores aplicados, obteniendo un mayor diámetro para la B<sub>1</sub> (dosis baja de micronutrientes) = 5.57 cm (A), seguido por B<sub>4</sub> (sin micronutrientes) = 5.53 cm (B), después está la B<sub>2</sub> (dosis media de micronutrientes) = 5.453 (AB) y al final B<sub>3</sub> (dosis alta de micronutrientes) = 5.34 cm (B). Con respecto al testigo sin micronutrientes (B<sub>4</sub>), la dosis baja de microelementos (B<sub>1</sub>) genera un aumento del

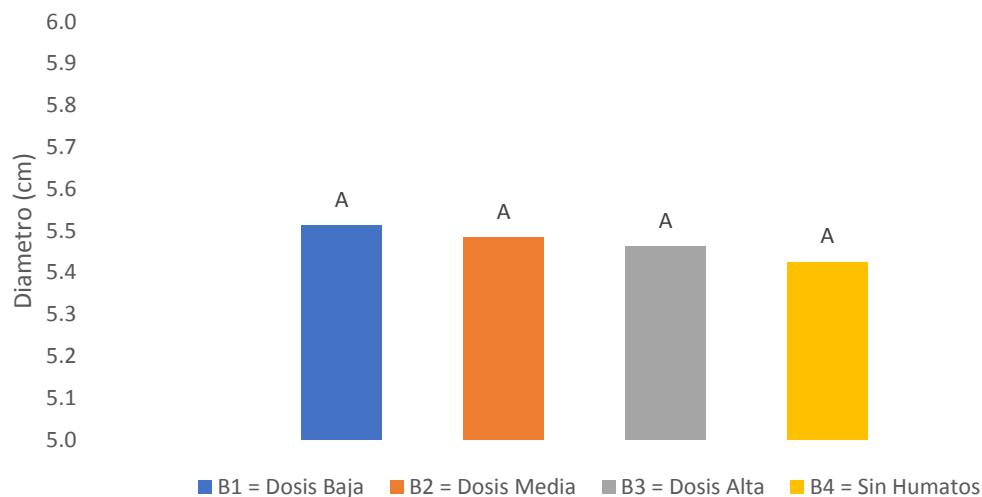
0.72 %, la dosis media (B<sub>2</sub>) generó una disminución del 1.39 % y la dosis alta (B<sub>3</sub>) una disminución del 3.44 %. Por los datos obtenidos se puede deducir que una mayor dosis de micronutrientes afecta la calidad del producto, que puede ser debido a su grado de toxicidad dentro de la planta y a que la especie es muy poco demandante de estos nutrientes, ya que la dosis baja y el no uso de micronutrientes no tuvieron diferencia. Esto se puede apoyar con lo poco probable en la práctica de observar deficiencias nutricionales de microelementos durante el crecimiento de la planta. Quizás no existió diferencia en la dosis baja de micronutrientes y en el no uso de estos, ya que en la práctica podemos encontrar muchos productos químicos tales como fungicidas, que en su composición química contienen estos elementos por lo que, al momento de aplicarlos, el suelo y la planta también se ven beneficiados nutricionalmente.



**Figura 4.2 Influencia de la dosis de micronutrientes sobre el diámetro (cm) del bulbo del ajo**

En lo que respecta al factor C (Dosis de humatos) no se encontró diferencia estadística significativa en ninguna de las dosis (Figura 4.3). Los resultados obtenidos para este factor junto con su respectivo agrupamiento tukey son los siguientes: C<sub>1</sub> (dosis baja de humatos) = 5.51 cm (A), C<sub>2</sub> (dosis media de humatos) = 5.48 cm (A), C<sub>3</sub> (dosis alta de humatos) = 5.46 cm (A) y C<sub>4</sub> (sin humatos) = 5.43 cm (A). Lo que indica que no hay diferencia en utilizar humatos o no utilizarlos, ya que el diámetro no se vio afectado por estos. Los datos

obtenidos difieren a los encontrados por (Abdel-Razzak y El-Sharkawy, 2013), en los que ellos encontraron diferencias significativas en el uso de ácido húmico, contra su testigo sin húmicos. Esto puede ser debido a las condiciones del suelo y a los factores climáticos de la región donde se realizó el experimento, ya que los datos del análisis de suelo muestran una capacidad de intercambio catiónico (CIC) moderadamente alta con un valor de 27.3 meq/100 g de Suelo, la CIC alta brinda una mayor capacidad para retener nutrientes, lo que hace que el suelo sea más fértil, la CIC proporciona una reserva de nutrientes para los nutrientes que han sido absorbidos por las plantas, por lo que por la CIC moderadamente alta en el suelo y el efecto de las sustancias húmicas no es significativo, ya que la mayoría de los cationes ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $H^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Cu^{2+}$ ) se encuentran adsorbidos en las partículas del suelo.



**Figura 4.3 Influencia de la dosis de humatos sobre el diámetro (cm) del bulbo del ajo**

Para la interacción A \* B (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes), se encontró una diferencia estadística altamente significativa, lo que muestra que existe una dependencia entre ambos factores. Lo que muestra que la fecha temprana de siembra y dosis baja de microelementos genera un mayor diámetro del bulbo y que la fecha más tardía de siembra y la dosis alta de micronutrientes genera una disminución significativa del diámetro del bulbo. Se observa que estos dos factores tienen dependencia entre ellos, debido a que los diámetros si



se vieron afectados, aumentando o disminuyendo los tamaños según las fechas y las dosis de micronutrientes. Esto puede ser debido a que las plantas que fueron sembradas en una fecha temprana tienen una mayor extracción de nutrientes por lo que pueden tener un mejor crecimiento del bulbo para dosis bajas de microelementos, disminuyendo en dosis altas, y las que fueron sembradas en una fecha tardía con una dosis alta de microelementos van a tener una menor calidad.

No se encontró una diferencia significativa para la interacción A \* C (Fecha de siembra \* Dosis de Humatos), lo que indica que hay indiferencia entre el uso de los humatos y la interacción de las fechas de siembra que se han utilizado para la producción del ajo. El diámetro no se vio afectado por la interacción entre estas dos variables.

La interacción B \* C (Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), no presentó una diferencia estadística significativa, por lo que se puede mencionar, que no hubo una respuesta positiva al interactuar estos dos factores en el diámetro del bulbo.

Tampoco se encontró una diferencia estadística significativa para la triple interacción A \* B \* C (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), no hubo diferencia significativa, lo que indica que no hubo interacción entre estas tres variables en el diámetro del bulbo, pese a que el factor A \* B si tuvieron interacción altamente significativo, al momento de evaluar la interacción de estos 3 factores, estadísticamente no existió una interacción.

## **4.2 Perímetro del bulbo**

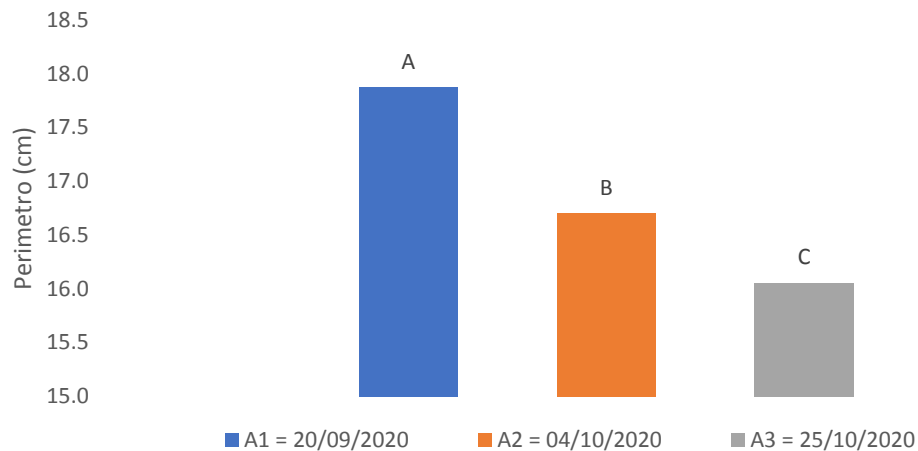
La variable perímetro del bulbo es importante ya que va a ayudar a conocer qué forma, acomodo y que tamaño pueden llegar a tener los dientes que contiene el bulbo del ajo. Aunque no se ha encontrado mucha información en la literatura

acerca de estudios realizados en ajo, en los cuales se centren sobre esta variable, por lo general suelen estar más considerados en lo que sería el diámetro, peso del bulbo, No. De dientes, etc. La calidad del ajo depende también del perímetro que tenga la cabeza de este, ya que como se mencionó anteriormente el perímetro juega un papel fundamental en el tamaño de los dientes y en la distribución que van a tener estos en lo que sería el bulbo e inclusive tiene influencia en la clasificación al momento del empaclado de los bulbos para su posterior comercialización.

Según los resultados obtenidos y reportados en el cuadro de concentración de datos (Cuadro 4.1) para el primer factor de variación que sería la fecha de siembra, reporta una diferencia estadística altamente significativa para los perímetros de cada bulbo de ajo en las tres diferentes fechas de siembra, lo que indica que una fecha temprana puede conducir a obtener un mayor perímetro del ajo y que una fecha tardía va a ocasionar una disminución en el perímetro, lo que ocasiona una menor calidad del ajo, esto quizás es debido a que la planta tiene una mayor producción de material fotosintético en la fecha de siembra temprana, lo que ocasiona que el perímetro del bulbo aumente por un mayor llenado del bulbo. Como se puede observar en la figura 4.4 los resultados obtenidos para las fechas de siembra fueron los siguientes:  $A_1 = 17.9$  cm (A),  $A_2 = 16.7$  cm (B) y  $A_3 = 16.1$  cm (C). Lo que indica que la selección tardía de una fecha de siembra puede tener disminución en el perímetro de hasta un 6.7 % para  $A_2$  y de hasta un 10.05 % para  $A_3$ , considerando como punto de referencia la fecha de siembra  $A_1$ . No existen otras fuentes de investigación en las que se mencione al perímetro como una variable de medición del bulbo del ajo, pero es una variable, que a futuro deba de ser estudiada por su importante influencia, en la calidad del producto.

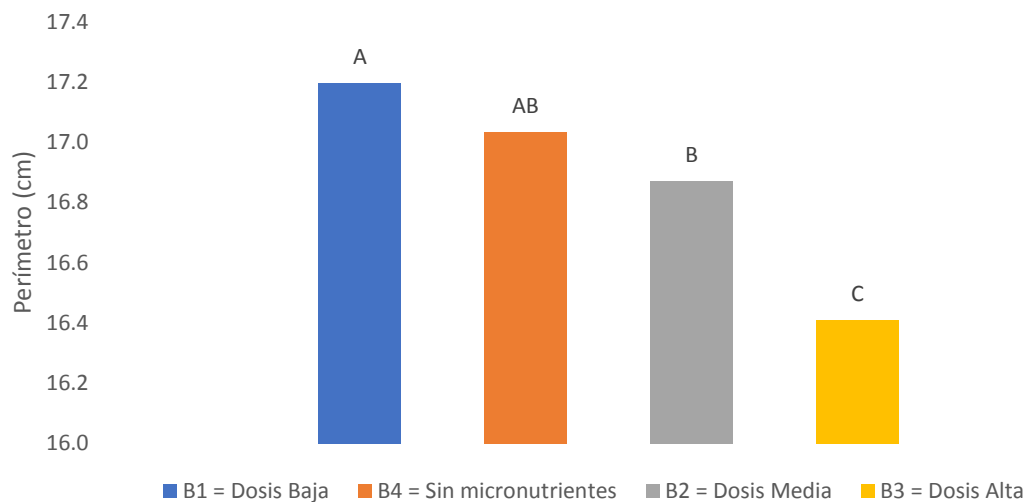
El factor B (dosis de micronutrientes), reporta una diferencia altamente significativa para las 4 diferentes dosis de micronutrientes (Figura 4.5), los resultados obtenidos para cada dosis de microelementos, con su respectivo nivel

jerárquico de la prueba tukey fueron los siguientes:  $B_1 = 17.2$  cm (A),  $B_4 = 17.0$  cm (AB),  $B_2 = 16.9$  cm y  $B_3 = 16.4$  cm (C). La dosis baja de micronutrientes ( $B_1$ ), presentó un aumento del 1.18 %, con respecto al testigo ( $B_4$ ), Lo dosis media ( $B_2$ ) una disminución perimetral del 0.6 %, y la dosis alta ( $B_3$ ) del 3.53%. Esto puede ser debido a que la aplicación de micronutrientes en bajas cantidades ocasiona una mayor producción y acumulación de fotosintatos y metabolitos como azúcares, enzimas, aminoácidos y proteínas dentro de los dientes de ajo. Es importante hacer notar que el exceso de micronutrientes ocasiona que la producción de estas sustancias se vea inhibida de alguna manera quizás por toxicidad.



**Figura 4.4 Influencia de las fecha de siembra sobre el perímetro (cm) del bulbo del ajo**

El factor C (dosis de humatos), no reporta una diferencia estadística significativa para las 4 diferentes dosis (Figura 4.6). Los resultados obtenidos para cada dosis de humatos son las siguientes:  $C_1 = 16.87$  cm (A),  $C_2 = 16.96$  cm (A),  $C_3 = 16.84$  cm (A) y  $C_4 = 16.84$  cm (A). Esto indica que los humatos no generan un aumento en el perímetro del bulbo y que el hecho de tomar la decisión de no utilizar humatos tampoco tiene influencia en la calidad del bulbo. Esto quizás es debido a la capacidad de intercambio catiónico que tiene el suelo utilizado en el experimento, ya que, en los valores reportados en el análisis de suelo, se tiene un valor moderadamente alto.



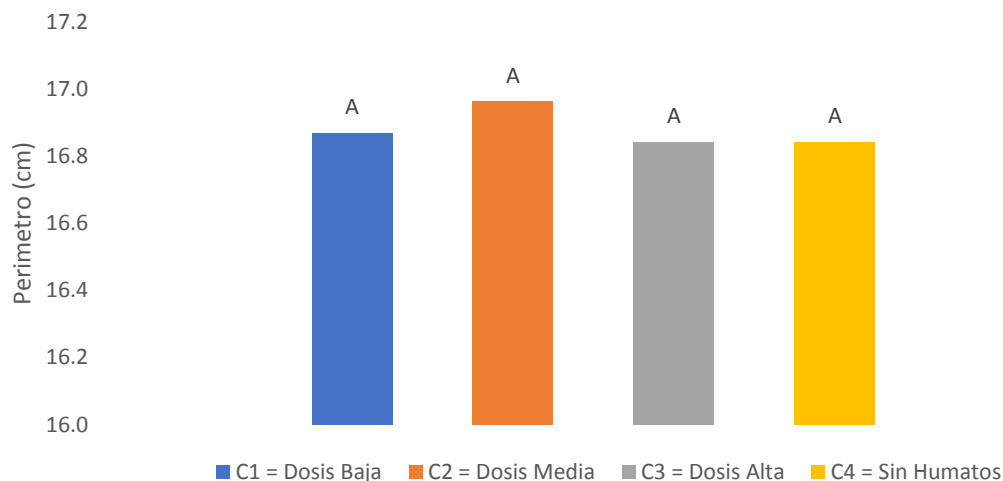
**Figura 4.5 Influencia de la dosis de micronutrientes en el perímetro (cm) del bulbo del ajo**

En la interacción A \* B (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes), se encontró diferencia altamente significativa, dichos resultados muestran que existe dependencia entre la fecha de siembra y la dosis de micronutrientes para generar un mayor perímetro del bulbo de ajo y mejorar la calidad del cultivo. Esto puede ser debido a que el tiempo que pudo tener la planta de asimilar los micronutrientes en el suelo para fechas tempranas es mayor, por lo mismo la cantidad de sustancias fotosintéticas y metabolitos producidos por la planta pueden ser mayor.

No se encontró diferencia estadística significativa para la interacción A \* C (Fecha de siembra \* Dosis de Humatos) en el perímetro del bulbo, por lo que las dos variables no son dependientes una de otra, por lo que no influyen sobre el aumento en el perímetro del bulbo.

La interacción B \* C (Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos) en el perímetro del bulbo, se encontró una diferencia estadística significativa. Esto indica que existe interacción entre estos tres factores para aumentar el perímetro del bulbo. Esto quizás sea debido a que las fechas de siembra tempranas aumentan el tiempo de la extracción de micronutrientes en el suelo, y en conjunto con los humatos que ayudan a mejorar la disponibilidad de los nutrientes en el

suelo, ocasionan una mayor cantidad de fotosintatos y metabolitos producidos por la planta, por lo que, en el momento de la diferenciación y traslocación de estos, ocasionan que el perímetro del bulbo aumente.



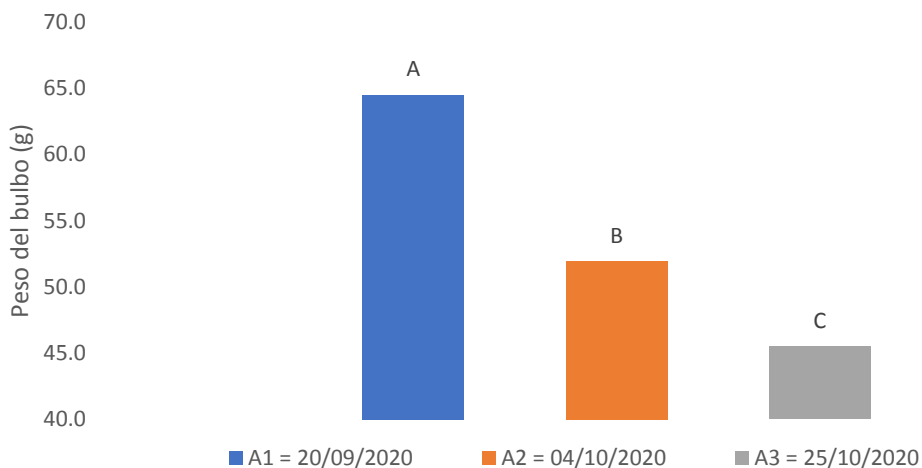
**Figura 4.6 Influencia de la dosis de humatos sobre el perímetro (cm) del bulbo del ajo**

### 4.3 Peso del bulbo

El peso del bulbo es una de las variables más importantes en lo que refiere al rendimiento de los cultivos, esto debido a que los rendimientos se registran con una medida que es  $t \cdot Ha^{-1}$ , por lo que, si se conocen los diferentes componentes de rendimientos como: el promedio del peso de cada bulbo para cada unidad experimental (UE), el área que utiliza o aprovecha cada unidad y se conoce la densidad de siembra para cada UE se puede interpolar y llevar este dato a  $t \cdot Ha^{-1}$ . Es importante también conocer la merma que se pueda tener en cada unidad, para así conseguir una mejor interpretación de los resultados de producción.

La fuente de variación A (Fechas de siembra), tuvo una diferencia estadística altamente significativa, lo que indica que las fechas de siembra si tienen la capacidad de influir de manera positiva o negativa en el peso del bulbo. Los resultados obtenidos para cada fecha de siembra, de acuerdo con la prueba tukey

se reporta entre paréntesis el agrupamiento obtenido, fueron los siguientes: A<sub>1</sub>= 64.52 g (A), A<sub>2</sub>=51.943 g (B) y A<sub>3</sub> =45.481 g (C). La Figura 4.7 muestra el comportamiento para esta variable. De acuerdo con el análisis de estos datos, se puede definir que los rendimientos van a incrementarse si se selecciona una fecha de siembra en septiembre alcanzando rendimientos de hasta 29.6 t \* Ha<sup>-1</sup>, con una notoria disminución de rendimientos si se realiza la siembra de manera tardía. La disminución puede ser de hasta el 19%, es decir una disminución que alcanza hasta las 23.8 t \* Ha<sup>-1</sup> en relación con la primer fecha de siembra y la segunda fecha de siembra, no obstante, si se realiza la siembra hasta el 25 de octubre, se puede tener una diferencia de rendimientos que podría llegar hasta un 30%, con rendimientos de 20.9 t \* Ha<sup>-1</sup> de disminución en el rendimiento. Estos datos coinciden con lo reportado por (Núñez Durazo, 2013; Shahidur *et al.*, 2004; Valenzuela Cornejo *et al.*, 2012). El aumento en el peso puede deberse a el aumento en la cantidad de fotosíntesis que la planta pudo producir y el aumento en la respiración que la planta produjo, lo que ocasiona un aumento en la acumulación de compuestos nutrimentales dentro del bulbo (Chanchan *et al.*, 2013). Estos resultados difieren con lo presentado por (Asgharipour y Arshadi, 2021) donde se determinó que en noviembre se encontraron un mayor peso de bulbo en el mes de noviembre, a diferencia de una plantación temprana en la región donde se realizó el experimento.

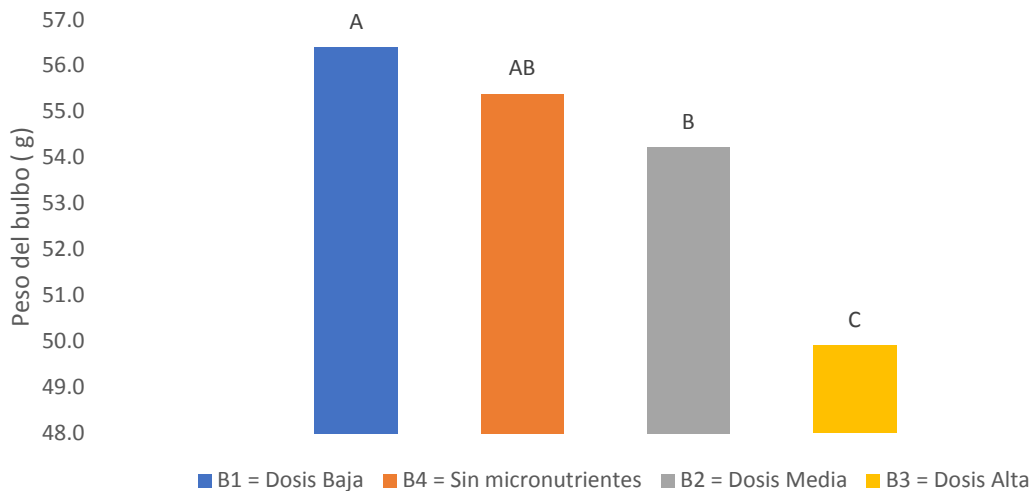


**Figura 4.7 Respuesta de la fecha de siembra sobre el peso (g) del bulbo**

Para el factor B (dosis de micronutrientes), se encontró una diferencia altamente significativa para cada una de las diferentes dosis de micronutrientes (Figura 4.8). Los resultados obtenidos para cada una de las dosis son los siguientes: B<sub>1</sub>= 56.403 g (A), B<sub>2</sub>= 54.22 g (B), B<sub>3</sub>= 49.914 g (C) y B<sub>4</sub>= 55.389 (AB). Analizando estos datos y llevándolos a un cálculo de rendimientos del producto, y tomando como referencia la dosis sin micronutrientes con rendimientos de hasta 25.4 t \* Ha<sup>-1</sup>, se puede mencionar que si se utilizan microelementos en dosis bajas se tendrá un aumento en el rendimiento de hasta un 2%, con rendimientos de 25.9 t \* Ha<sup>-1</sup>, la dosis media presentó una disminución del 2% de rendimientos con un total de 24.9 t \* Ha<sup>-1</sup> y la dosis alta fue la que mayor afectación tuvo en los rendimientos con hasta un 10% de disminución alcanzando rendimientos de 22.9 t \* Ha<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden con lo encontrado por (Ballabh *et al.*, 2013; Carbajal Choquehuanca, 2018; Pooja *et al.*, 2015, 2017; Pramanik, 2015; Ramírez, 2014; Yousuf *et al.*, 2016), los micronutrientes también tienen la capacidad de ser activadores de enzimas y al mismo tiempo en cantidades elevadas pueden producir toxicidad o generar una inhibición de absorción de otro ion, se asume esto ya que, al aumentar la dosis de microelementos, la dosis media y alta ocasionaron una disminución significativa en los rendimientos del producto ya cosechado, debido a que el requerimiento de estos nutrientes por parte del cultivo es baja.

En relación con el factor C (dosis de humatos), no se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas. Los resultados obtenidos (Figura 4.9) para cada dosis fueron las siguientes: C<sub>1</sub>= 53.964 g (A), C<sub>2</sub>= 54.366 g (A), C<sub>3</sub>= 54.016 g (A) y C<sub>4</sub>= 53.58 g (A). Es indiferente el uso de humatos con respecto al peso cuando se utilizan diferentes dosis de humatos o cuando no se utilizan, ya que no se genera una diferencia en rendimientos. A diferencia de los resultados de (Abdel-Razzak y El-Sharkawy, 2013) en donde se determinó que la dosis media

de humatos fue la mejor en la producción de un mejor peso de bulbo, generando por consiguiente un aumento en los rendimientos.

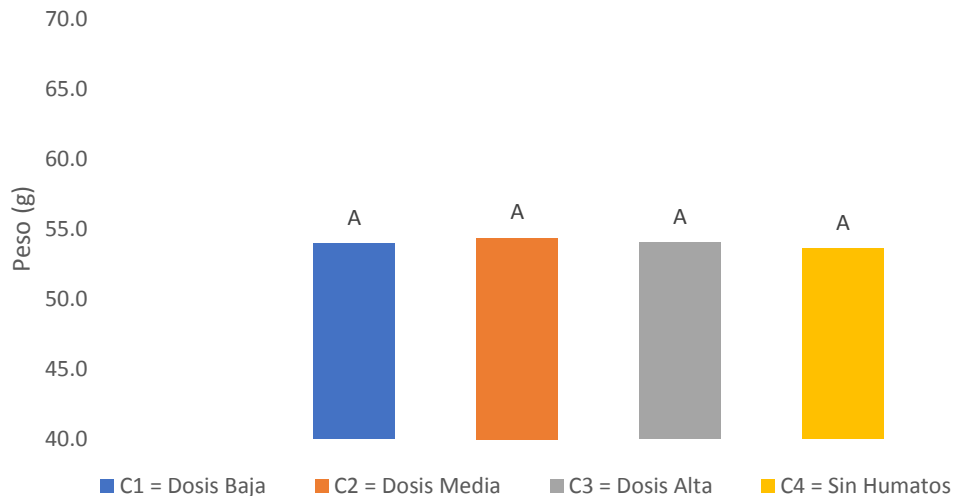


**Figura 4.8 Respuesta de la dosis de microelementos sobre la variable peso (g) del bulbo**

Para la interacción A \* B (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes), se encontró diferencia estadística altamente significativa, lo que muestra que hay dependencia entre ambos factores. El peso del bulbo de ajo fue afectado por la interacción entre estos dos factores y por consiguiente va a ocasionarse un aumento en los rendimientos del producto con una selección adecuada de siembra y la dosis de micronutrientes adecuada, esto quizás es debido por el llenado que puede obtener el bulbo al estar sometido a una fecha temprana de siembra ya que la planta tiene la capacidad de absorber más nutrientes del suelo, lo que propicia que la planta pueda alcanzar una mayor cantidad de fotosintatos y metabolitos producidos, lo que quizás ocasiona un mejor crecimiento y desarrollo del bulbo.

No existe diferencia significativa para la interacción A \* C (Fecha de siembra \* Dosis de Humatos), lo que indica que existe independencia entre el uso de los humatos y fechas que se han utilizado para la producción del bulbo del ajo por lo que el peso no se ve afectado y por lo tanto los rendimientos no van a ser mayores.





**Figura 4.9 Influencia de la dosis de Humatos sobre el peso (g) del bulbo de ajo**

Para la interacción B \* C (Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), no se presentó una diferencia estadística significativa, lo que indica que es indiferente la interacción entre estos dos factores para aumentar el peso del bulbo de ajo, por lo que los rendimientos no serán mayores.

Tampoco se encontró diferencia estadística significativa para la triple interacción A \* B \* C (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), esto indica que son indiferentes estos tres factores para determinar un aumento en el peso de los bulbos.

#### 4.4 Número de dientes

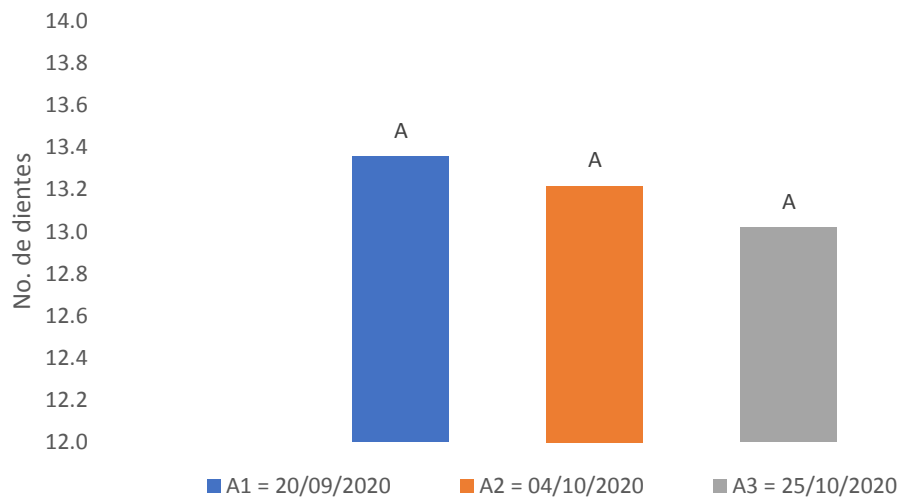
La propagación del cultivo del ajo es de tipo vegetativa, ya que muchas variedades de ajo han perdido su capacidad para reproducirse por medio de semillas, o al utilizar las semillas los rendimientos suelen presentar una gran disminución, además de la segregación genética, no favorable para los productores. Es por esto por lo que los agricultores que se dedican a la producción del ajo utilizan los dientes extraídos del bulbo para siembra del cultivo. De ahí viene la importancia de buscar tener una producción de calidad que se

base en una buena cantidad de dientes con un buen tamaño de cada uno. También se debe hacer notar la importancia que tiene en el consumo por parte de la población, ya que esta es la parte del producto, que se suele consumir en la cocina, aunque en algunos lugares se suelen emplear también lo que sería el tallo florar e incluso si la variedad llega a producir semillas, estas también se suelen consumir en la cocina.

De acuerdo con los datos obtenidos en el Cuadro 4.1, para el factor fechas de siembra, no se encontró una diferencia estadística significativa. Los resultados obtenidos con su respectivo nivel jerárquico (Figura 4.10) de Tukey son los siguientes:  $A_1= 13.4$  (A),  $A_2= 13.2$  (A) y  $A_3= 13$  (A). Los resultados obtenidos difieren con los resultados presentados por (A El-Morsy *et al.*, 2021; Farag y El-Zohiri, 2014; M Osman y Rizk, 2018; Valenzuela Cornejo *et al.*, 2012) en el que para una fecha temprana se obtenía un mayor número de dientes, pero a medida que la siembra se realizaba más tardía, el número de dientes sufría una disminución. Coincidiendo con (Choi *et al.*, 2009) en ambos resultados no se encontraron diferencias significativas para el número de dientes. Con los obtenidos en esta investigación no hubo diferencias, esto demuestra que para esta región y para esta variedad las fechas de siembra no van a influir en los rendimientos de dientes por bulbo. Esto no se podría explicar por el diente que se utilizó en la siembra, ya que se seleccionaron dientes de características específicas para ser sembrados, y no se realizó la siembra de tamaños diferentes de dientes. Se puede decir que el fotoperiodo, las horas frío, la temperatura y otros factores cuantitativos que pueden variar a diferentes fechas de siembra no influyen en el número de dientes.

Para el factor B (dosis de microelementos), se encontró diferencia altamente significativa (Cuadro 4.1). Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 5.11, y son los siguientes:  $B_1= 13.5$  (A),  $B_2= 13.3$  (A),  $B_3= 12.7$  (B) y  $B_4= 13.4$  (A). El no utilizar micronutrientes (100%) junto con el uso de microelementos en la dosis baja (100.75%) y media (99.25%), no genera un cambio en el número de

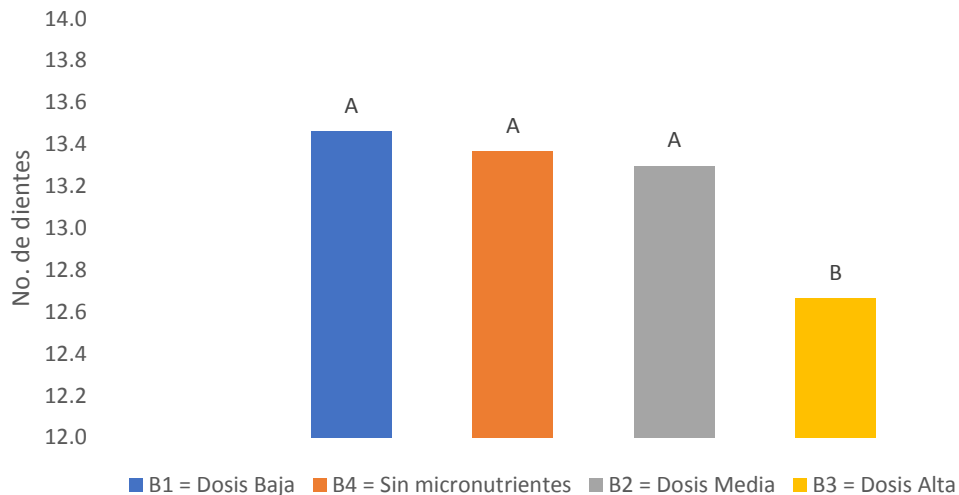
dientes producidos por la planta, aunque en dosis alta, la cantidad de dientes disminuye hasta llegar a un 95%. Esta información coincide con lo presentado por (Carbajal Choquehuanca, 2018; Choudhary *et al.*, 2015; Yousuf *et al.*, 2016), obteniendo una mayor cantidad de dientes en cada bulbo. Otros estudios en los que se evaluaron diferentes dosis de micronutrientes por separado como Fe, Mn, Zn y B no encontraron diferencias estadísticas significativas, por lo que la interacción por separado de estos nutrientes no va a generar un cambio en la cantidad de dientes por bulbo (Chanchan *et al.*, 2013). Se puede deducir que los micronutrientes actúan en conjunto para producir un aumento o disminución en la cantidad de dientes, o para incluso tener una cantidad más estable en el número de dientes.



**Figura 4.10 Influencia de la fecha de siembra sobre el número de dientes del bulbo del ajo**

En lo que respecta al factor C (dosis de humatos), no se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas. Los resultados obtenidos se encuentran graficados en la Figura 4.12, siendo para cada dosis los siguientes: C<sub>1</sub>= 13.0 (A), C<sub>2</sub>= 13.2 (A), C<sub>3</sub>= 13.4 (A) y C<sub>4</sub>= 13.2 (A). El no utilizar humatos con el uso de la dosis baja de humatos no presentó diferencia (100%), mientras que el uso de la dosis media genera un aumento del 1.5% en cuanto, en cambio la dosis baja de humatos presentó una disminución en el número de dientes de hasta un 0.75 %. Por lo que se puede definir que los humatos no generan un cambio en el número

de dientes del bulbo. (Zeinali y Moradi, 2015) difieren en cuanto a los resultados presentados, encontrando diferencias estadísticas significativas en la cantidad de dientes producidos por el bulbo con el uso de humatos en diferentes dosis.



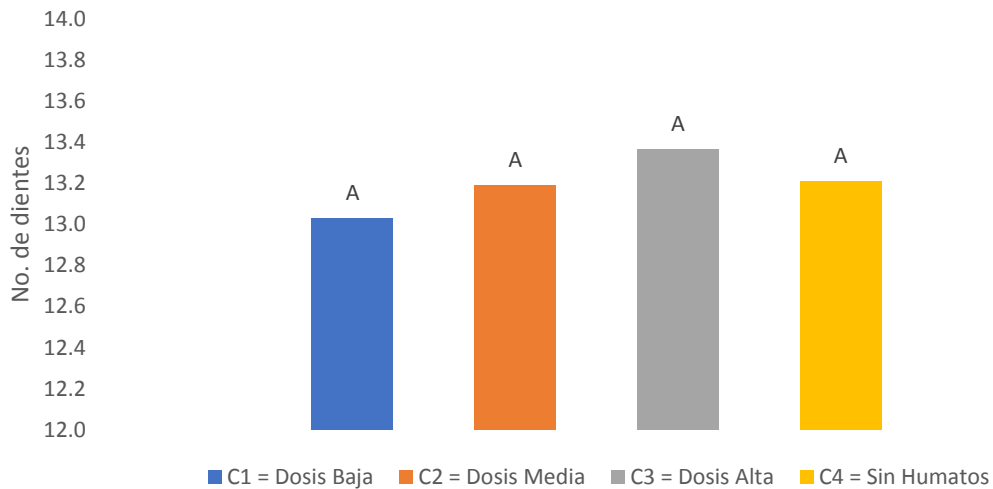
**Figura 4.11 Influencia de la dosis de micronutrientes sobre el número de dientes del bulbo del ajo**

Para la interacción A \* B (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes), se encontró una diferencia estadística altamente significativa, lo que muestra que hay dependencia entre ambos factores para obtener un mayor número de dientes, quizás debido a la capacidad que tiene la planta para alcanzar una correcta bulbificación al haber completado sus procesos fisiológicos y al haber producido la cantidad adecuada de sustancias fotosintética y metabolitos, la respuesta obtenida es que la planta produce más dientes en fechas de siembra tempranas y dosis bajas de microelementos, disminuyendo la cantidad de dientes para fechas de siembra tardías y dosis medias de microelementos

No existe diferencia significativa para la interacción A \* C (Fecha de siembra \* Dosis de Humatos), lo que nos indica que hay indiferencia entre el uso de los humatos y fechas que se han utilizado para la producción del bulbo con una buena cantidad de dientes.

La interacción B \* C (Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), no presentó diferencia estadística significativa, por lo que se puede mencionar que no hubo

una respuesta positiva al interactuar los dos factores para determinar el número de dientes.



**Figura 4.12 Respuesta de la dosis de humatos sobre el número de dientes**

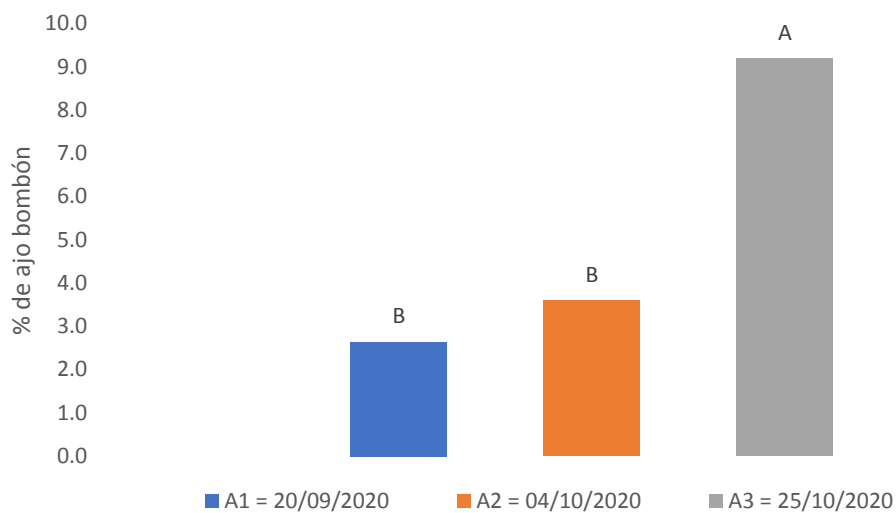
No se encontró diferencia estadística significativa para la triple interacción A \* B \* C (Fecha de siembra \* Dosis de micronutrientes \* Dosis de Humatos), lo que indica que no hubo interacción entre estas tres variables para obtener un cambio en el rendimiento en cuanto al número de dientes.

#### 4.5 Ajo bombón

También conocido en la región productora de ajo en el estado de Zacatecas (México) como ajo acebollado o ajo cebollón, es una variable muy importante dentro de la producción del cultivo de ajo, ya que esta tiene que ver con pérdidas relacionadas con el rendimiento del cultivo. Esta afectación se da cuando en la planta no ocurre la diferenciación de los dientes, lo que ocasiona que el bulbo no llegue a completarse normalmente y en la zona donde da lugar el bulbo se presenten hojas envoltentes gruesas que asemejan a las hojas de reserva de un bulbo de cebolla.

De acuerdo con los datos obtenidos en el Cuadro 4.1, se encontró una diferencia estadística altamente significativa para fechas de siembra, lo que indica que la

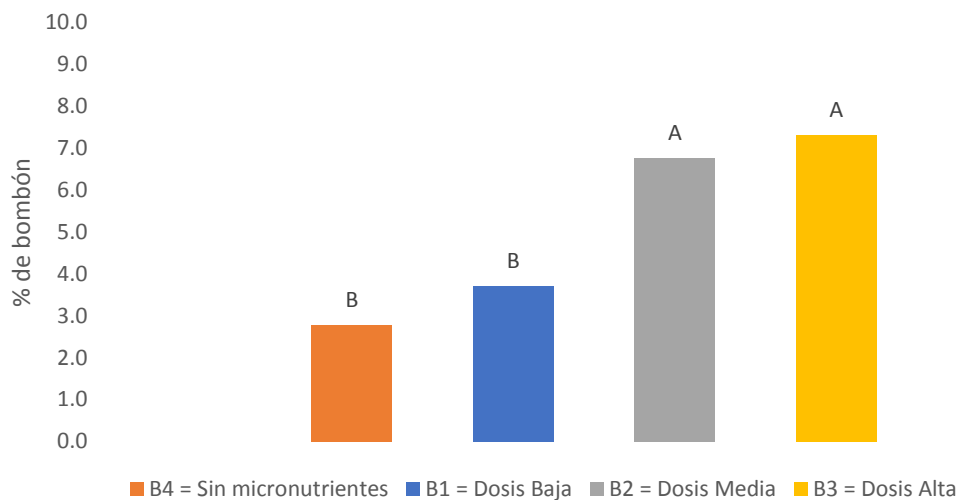
fecha de siembra influye de alguna manera en la cantidad de ajos que tendrán condición de acebollado (Figura 4.13). Los datos obtenidos para el porcentaje de estos en las diferentes fechas de siembra son los siguientes:  $A_1 = 2.6 \%$ , (B),  $A_2 = 3.6 \%$  (B) y  $A_3 = 9.2 \%$  (A). Hay que resaltar que, el valor mayor  $A_3$  con agrupamiento A es el menos deseado, por lo que se puede definir que para una fecha de siembra tardía la afectación aumenta. Esto quizás es debido a factores tales como la temperatura, el ajo requiere cumplir cierta cantidad de horas frío para poder llegar a una diferenciación óptima por lo que el ajo en fechas de siembra tardías no alcanzó el número requerido de horas frío para llegar a una óptima bulbificación.



**Figura 4.13 Influencia de la fecha de siembra en el porcentaje de ajo bombón**

En lo que respecta al factor dosis de micronutrientes (Figura 4.14), se encontró una diferencia estadística altamente significativa, los valores obtenidos son los siguientes:  $B_1 = 3.7 \%$  (B),  $B_2 = 6.8 \%$  (A),  $B_3 = 7.3 \%$  (A) y  $B_4 = 2.8 \%$  (B). Considerando la agrupación tukey, en este factor la letra B indica menor afectación por ajo bombón, por lo que lo más deseado es un porcentaje menor, por lo que el testigo (Sin microelementos) tuvo la menor afectación junto con las dosis bajas con diferencia de  $0.9 \%$ , las dosis medias y altas de microelementos tuvieron las mayores pérdidas por causa de este problema. Esto quizás es debido

a la toxicidad que producen los microelementos en altas cantidades, bloqueando algunos procesos fisiológicos en la planta tales como la diferenciación.

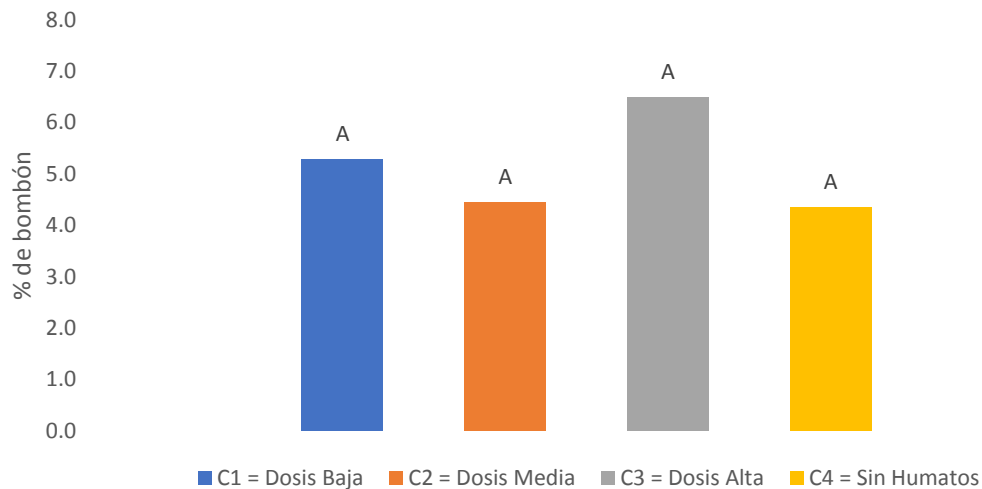


**Figura 4.14 Respuesta de la dosis de microelementos en el porcentaje de ajo bombón**

Para el factor de dosis de humatos, no se encontró una diferencia estadística significativa para este factor, lo que indica que es indiferente el uso de humatos en la afectación por ajo acebollado (Figura 4.15). Los resultados obtenidos son los siguientes:  $C_1 = 5.3 \%$  (A),  $C_2 = 4.4 \%$  (A),  $C_3 = 6.5 \%$  (A) y  $C_4 = 4.4 \%$  (A). Esto indica que los humatos no tienen ninguna influencia para generar algún aumento en el ajo bombón, cosa que se puede considerar como favorable ya que se busca que la participación de estos mejore la absorción de micronutrientes y los procesos fisiológicos en la planta, sin generar afectaciones en el desarrollo y crecimiento del bulbo.

Con lo que respecta a la interacción A \* B (fecha de siembra \* dosis de microelementos), se encontró una diferencia altamente significativa. Lo que indica que existe dependencia para la afectación por ajo cebollón. A medida que se aumenta la dosis de micronutrientes y la fecha de siembra se realiza más tardía, la cantidad de ajo bombón aumenta. Esto quizás es debido al tiempo que pasa la planta para producir fotosintatos y a la disminución en la producción de estos por toxicidad o a una menor absorción de nutrientes para fechas tardías.

También es posible que la temperatura tenga influencia en la absorción de los nutrientes, y la posible acumulación de horas frío haya tenido alguna influencia para la diferenciación del bulbo, ya que la cantidad de estas en una fecha tardía será menor, lo que puede ocasionar una interrupción en procesos fisiológicos previos a la diferenciación.



**Figura 4.15 Influencia de la dosis de humatos en el porcentaje de ajo bombón**

Respecto al factor A \* C (Fecha de siembra \* dosis de humatos), se encontró una diferencia altamente significativa. Lo que indica que estas dos variables son dependientes en cuanto a afectaciones por bombones en ajo. Los humatos sirven como quelantes de nutrientes en el suelo, lo que ocasiona que la absorción de estos por las plantas aumente y pueda, quizás, producir toxicidad en la planta, lo que puede afectar en la diferenciación del bulbo.

La interacción del factor B \* C (Dosis de microelementos \* dosis de humatos), presentó una diferencia estadística altamente significativa, por lo que se deducir que estas dos variables dependen una de la otra para tener afectaciones por acebollamiento del bulbo. Esto quizás es debido al aumento en la absorción de nutrientes producida por los humatos lo que puede ocasionar toxicidad para las plantas.



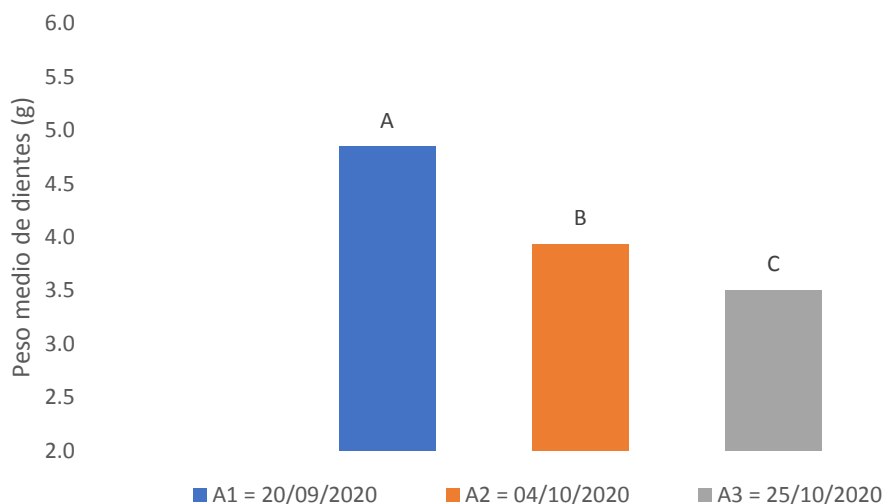
Con respecto a la fuente de variación A \* B \* C (Fecha de siembra \* Dosis de microelementos \* Dosis de humatos), se encontró una diferencia estadística significativa, lo que indica que existe dependencia entre estos tres factores. Esto puede ser debido a un aumento en la absorción de microelementos que puede ser mayor para fechas de siembra temprana, favorecida por el uso de humatos, lo que hace que disminuya la cantidad de ajo bombón.

#### **4.6 Peso medio de dientes**

Esta es una variable importante debido a que sirve para tener una idea del rendimiento que se tendrá de dientes por cada bulbo, y de este modo tener una estimación de cuantos Kg o Toneladas de bulbos de ajo se van a requerir para sembrar alguna determinada área de producción. También sirve para tener en cuenta la calidad que el bulbo de ajo alcanzó durante la producción, entre mayor sea el peso medio del diente, mayor es la acumulación de sustancias dentro de este, lo que de la misma forma producirá dientes de mayor tamaño y se tendrá una mayor calidad.

Según los datos obtenidos del Cuadro 4.1, para el factor A (Fecha de siembra), se encontró una diferencia estadística altamente significativa (Figura 4.16), los resultados obtenidos son los siguientes:  $A_1 = 4.8$  g (A),  $A_2 = 3.9$  g (B) y  $A_3 = 3.5$  g (C). La disminución de los rendimientos del peso de dientes para la segunda fecha de siembra puede ser de hasta un 18.7 %, considerando como referencia la fecha de siembra temprana, la fecha de siembra tardía producirá una disminución de hasta el 27 %. Esto indica que el peso medio de dientes sí se ve influenciado por la fecha de siembra, una fecha temprana producirá un peso de dientes mayor. Esta información coincide con lo presentado por (A El-Morsy et al., 2021; Farag y El-Zohiri, 2014; M Osman y Rizk, 2018), en el que consideran que esto puede ser debido a un mayor y más sano crecimiento de la planta. Esto quizás es debido al aumento en la absorción de nutrientes, lo que ocasiona una mejoría en la cantidad de fotosintatos y metabolitos producidos por la planta al

estar más tiempo recibiendo radiación solar, que, al ser traslocados en los dientes, pueden generar un aumento en el volumen y el peso del diente.

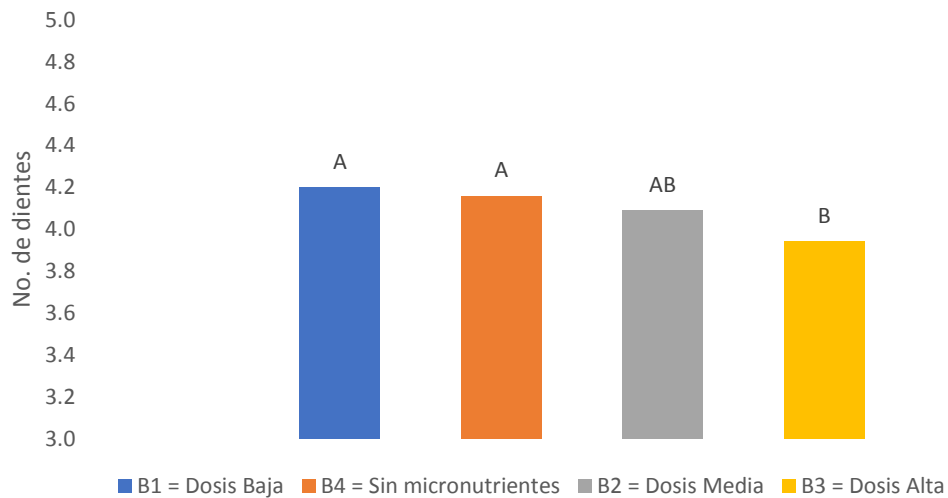


**Figura 4.16 Influencia de la fecha de siembra sobre el peso medio de dientes**

Lo que respecta al factor B (Dosis de microelementos), se encontró una diferencia estadística significativa (Cuadro 4.1), lo que indica que los micronutrientes influyen en el peso medio de los bulbos. Los datos obtenidos, plasmados en la Figura 4.16, son los siguientes:  $B_1 = 4.2$  g (A),  $B_4 = 4.2$  g (A),  $B_2 = 4.1$  g (AB) y  $B_3 = 3.9$  g (B). Las dosis altas y medias de micronutrientes fueron las que mayor influencia negativa presentaron en el peso de los dientes, lo que pudo haber sido debido a la toxicidad que pudieron llegar a producir en la planta, disminuyendo la cantidad de sustancias producidas por las plantas.

Para el factor C (Dosis de humatos), no se encontró una diferencia estadística significativa, lo que indica que los humatos no tuvieron influencia en el peso medio de los dientes. Los resultados obtenidos (Figura 4.18) son los siguientes:  $C_1 = 4.1$  g (A),  $C_2 = 4.1$  g (A),  $C_3 = 4.1$  g (A) y  $C_4 = 4$  g (A). Quizás sea debido a que no hubo un aumento en la absorción de nutrientes por parte de la planta causada por los humatos, debido a la CIC que se tiene en el suelo moderadamente alta. Dicha información difiere con lo presentado por (Zeinali y

Moradi, 2015), en el que las diferentes dosis de humatos disminuyeron el peso del diente.

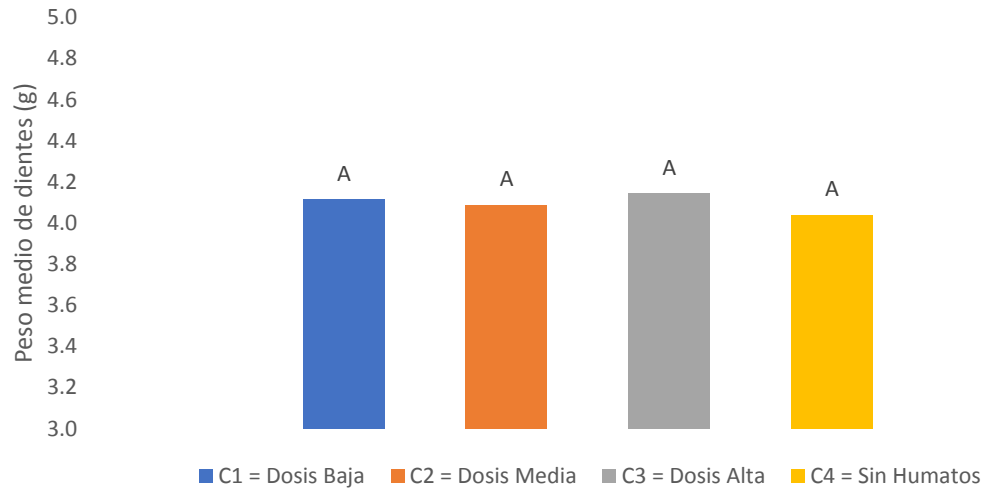


**Figura 4.17 Respuesta de la dosis de micronutrientes sobre el peso medio de dientes**

Se encontró una diferencia estadística significativa para el factor A \* B (Fecha de siembra \* dosis de microelementos), lo que indica que existe dependencia entre estos factores para determinar el peso medio de los dientes producidos en el bulbo. A medida que la fecha de siembra se realiza más tardía y la dosis de microelementos aumenta, el peso medio de los dientes disminuye lo que puede indicar una disminución en los metabolitos producidos por la planta debido a una menor producción de estos por una posible intoxicación por nutrientes que puedan afectar el desarrollo y posteriormente afectar el crecimiento de los dientes dentro del bulbo.

No se encontró una diferencia estadística significativa para la interacción A \* C (Fecha de siembra \* dosis de humatos), lo que indica que la interacción de estas dos variables es inexistente para determinar el peso medio de los dientes.

Tampoco se encontró una diferencia estadística significativa para la interacción B \* C (Dosis de microelementos \* dosis de humatos), esto quiere decir que hay indiferencia entre estas dos variables para el peso medio de dientes del bulbo.



**Figura 4.18 Respuesta de las dosis de humatos en el peso medio de dientes**

La triple interacción no presentó una diferencia estadística significativa para la triple interacción A \* B \* C (Fecha de siembra \* dosis de micronutrientes \* dosis de humatos), por lo que es indiferente la interacción de estas tres variables para determinar el peso medio de los dientes del bulbo para cada interacción.

## 5. CONCLUSIÓN

En base las condiciones bajo las cuales se estableció esta investigación y a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

Para la región de Chaparrosa, en el estado de Zacatecas (México), es posible obtener mejor calidad y rendimientos de bulbo si se realiza la siembra en fechas cercanas al 22 de septiembre, fechas tardías afectará de manera negativa la calidad del bulbo.

Las requerimientos de micronutrientes por parte de la planta son bajos, por lo que, dosis bajas de micronutrientes producirán bulbos con mejor calidad y con mejores rendimientos. Dosis medias y altas de microelementos, disminuirán los rendimientos hasta un 5 % y 10% respectivamente, por lo que se recomienda no aplicar una dosis mayor a la baja.

Los humatos no mostraron algún efecto positivo en la calidad y rendimientos del bulbo, deben realizarse posibles investigaciones futuras para entender mejor el comportamiento que tienen los humatos en el cultivo.

## LITERATURA CITADA

- A El-Morsy, A. H., Abd El-Basir, A. E., & Mark, C. (2021). Influence of Planting Dates and Some NK-Rates on Productivity and Storability of Garlic. *J. of Plant Production, Mansoura Univ*, 12(1), 19–24. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.152013>
- Abdel-Razzak, H. S., & El-Sharkawy, G. A. (2013). Effect of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality and storability of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Asian Journal of Crop Science*, 5(1), 48–64. <https://doi.org/10.3923/AJCS.2013.48.64>
- Al-Barzinji, I. M., & Naif, A. SH. (2014). Effect of Magnesium Salts on Growth and Production of Garlic (*Allium sativum* L.). *ARO- The Scientific Journal of Koya University*, 11(1), 1–5. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14500/aro.10038>
- Arshad, F. (2021). To study the effect of manganese (Mn) on some morphological and anatomical aspects of allium. *Pakistan Bulletin of Botany*, 01(1).
- Augusti, K. (1996). *Therapeutic values of onion (Allium cepa) and garlic (Allium sativum)*. 34, 634–640.
- Berger, K. C. (1965). *Introductory soils* (The MacMillan Co, Ed.).
- Block, E. (1985). *The chemistry of garlic and onions*. 252, 94–99.
- Carbajal Choquehuanca, J. P. (2018). *Efecto de dosis de soluciones nutritivas en la producción de ajo (Allium sativum L.) mediante la técnica de cultivo acolchado plástico - K'ayra - Cusco*.
- Chanchan, M., Hore, J. K., & Ghanti, S. (2013). Response of garlic to foliar application of some micronutrients. *Journal of Crop and Weed*, 9(2), 138–141.
- Choi, H., Yang, E. Y., Chae, W. B., Kwack, Y. B., & Kim, H. L. (2009). Effect of soil temperature, seedtime, and fertilization rate. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(4), 454–459.
- Choudhary, M. K., Kavita, Hatwal, A. P. K., & Singh, B. (2015). Effect of biofertilizers and micronutrients on quality attributes of garlic (*Allium sativum* L.) var. G-282. *International Journal of Applied Agricultural & Horticultural Sciences*, 6(4), 172–174.
- del Pozo, A., & González, M. I. (2005). Developmental responses of garlic to temperature and photoperiod. *Agricultura Técnica*, 65(2), 119–126.
- Denre, M., Ghanti, S., & Sarkar, K. (2014). *Effect of humic acid application on accumulation of mineral nutrition and pungency in garlic (Allium sativum L.)*. 5(2), 7–12. <https://doi.org/10.5897/IJBMBR2014.0186>
- Farag, A. A., & El-Zohiri, S. S. M. (2014). Relation Planting Date, Cultivars and Growing Degree-Days on Growth, Yield and Quality of Garlic. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3, 1169–1183.

- Gaviola, S., & Lipinski, V. M. (2008). Effect of nitrogen fertilization on yield and color of red garlic (*Allium sativum*) cultivars. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 35(1), 57–64.
- Ghasemi, K., Bolandnazar, S., Tabatabaei, S. J., Pirdashti, H., Arzanlou, M., Ebrahimzadeh, M. A., & Fathi, H. (2015). Antioxidant properties of garlic as affected by selenium and humic acid treatments. *Journal of Crop and Horticultural Science*, 43(3), 173–181. <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.991743>
- Gnilitskaya, A. B. (1967). Effectiveness of presowing treatment of corn grains with copper sulfate during application of mineral fertilizers in various ways. *Mikroelem*, 3, 81–86.
- Gunshin, H., Mackenzie, B., Berger, U., Gunshin, Y., Romero, M., Boron, W., Nussberger, S., & Gollan, J. L. H. M. (1997). Cloning and characterization of a mammalian proton-coupled metal-ion transporter. *Nature*, 388, 482–488.
- Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). *Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation*. 15(1), 89–109. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1>
- Hagin, J., Sneh, M., & Lowengart-Aycicegi, A. (2003). *Fertigation - Fertilization through irrigation* (A. E. Johnston, Ed.).
- He, L., Shi-qi, L., Yue, W., Jing-kai, L., Lei, F., & Xiang-Wei, C. (2013). Effects of Calcium on Photosynthetic Characteristics and Quality of Garlic. *Acta Horticulturae Sinica*, 40(6), 1169–1177.
- Huez, M. A., López-Elías, J., Jiménez-L, J., Garza-Ortega, S., Preciado-F, F. A., Álvarez, A., Valenzuela, P., & Rodríguez-C, J. (2010). Fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la costa de Hermosillo. *BIOtecnica*, 12(3), 23. <https://doi.org/10.18633/bt.v12i3.101>
- Jegadeeswari, D., Chitdeshwari, T., & Shukla, A. K. (2020). Optimization of Copper Sulphate Levels to Enhance Yield and Quality of *Aggregatum* Onion (*Allium cepa* var *aggregatum* L). *Madras Agric. J.* <https://doi.org/10.29321/MAJ.2020.000382>
- JIAN-LONG, B., KEH-SHEN, L., & TOSCANO, N. C. (2005). Effect of planting date and nitrogen fertilization on photosynthesis and soluble carbohydrate contents of cotton in relation to silverleaf whitefly (*Bemisia tabaci* biotype “B”) populations. *Insect Science*, 12(4), 287–295. <https://doi.org/10.1111/J.1005-295X.2005.00035.X>
- Jiku, A. S., Alimuzzaman, Singha, A., Rahaman, A., Ganapati, R. K., Alam, A., & Sinha, S. R. (2020). Response and productivity of Garlic (*Allium Sativum* L.) by different levels of potassium fertilizer in farm soils. *National Research Centre*, 44(9), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-0267-7>
- Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2012). Fertirrigación: Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. In *Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) Instituto Internacional de la Potasa (IIP)*.
- Kamenetsky, R., Longon Shafir, I., Zemah, H., Barzilay, A., & Rabinowitch, H. D. (2004). Environmental Control of Garlic Growth and Florogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(2), 144–151. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.2.0144>
- Kyrkby, E., & Römheld, V. (2007). Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. *The International Fertilizer Society*.

- Lewis, D. H. (1980). Are there any inter-relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? *New Phytol*, *84*, 261–270.
- Lohry, R. (2007). *Micronutrients: Functions, sources and application methods*.
- Lorenzetti, E., Stangarlin, R., Carvalho, J. C., Hendges, C., Calandrino Da Mata, T., José, A., Neto, A., Kohler, T. R., Tartaro, L., Ritter, G., Diulen Costa Brito, O., Belmonte, C., Feroldi, L. T., & Júnior, R. C. (2021). Calcium, copper, manganese and zinc and plant diseases: a review. *AJCS*, *15*(05), 1835–2707. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.05.p2845>
- M Osman, Y. M., & Rizk, S. M. (2018). Effect of Planting Date and some Pre-Planting Treatments on Growth and Yield of Garlic. *J. Plant Production, Mansoura Univ*, *9*(12), 1091–1096.
- Mahler, C. F., Svierzoski, N. D. S., & Bernardino, C. A. R. (2021). Chemical Characteristics of Humic Substances in Nature. *Humic Substance [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.97414>
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*.
- Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos* (16th ed.). Pirámide.
- Navarro, M. C. (2007). Posibilidades terapéuticas del bulbo de ajo (*Allium sativum*). *Revista de Fitoterapia*, *7*(2), 131–151.
- Núñez Durazo, G. (2013). *Rendimiento y calidad de ajo (Allium sativum L.) vars-Tocombo y regional en diez fechas de siembra, en la región de la costa de Hermosillo, Sonora*.
- Ortega Enríquez, J. (s. f.). *Respuesta del ajo a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en suelos del Centro Regional de Investigación Obonuco*.
- Pinzón, H. (s. f.). *Botánica Morfología y fisiología*.
- Pooja, R., Panghal, V. P. S., Rana, M. K., & Duhan, D. S. (2015). Response of garlic to foliar application of urea and micronutrients. *International Journal of Tropical Agriculture*, *33*(4), 2845–2849.
- Pooja, R., Panghal, V. P. S., Shiwani, Duhan, D. S., & Bhukar, A. (2017). Yield, quality and economics of garlic as influenced by foliar application of urea and micronutrients. *Vegetos*, *30*(Special Issue 1), 176–179. <https://doi.org/10.5958/2229-4473.2017.00054.4>
- Pramanik, K. (2015). *Effect of micronutrients on growth, yield and quality of onion (Allium cepa L.)*.
- Ramírez, F. A. (2014). *Dosis de micronutrientes granulados en el cultivo de cebolla china (Allium fistulosum) var. Roja Chiclayana, en la provincia de Ica*.
- Reveles, M., Velásquez, R., & Cid, J. Á. (2014). *Barretero, Variedad de ajo jaspeado para Zacatecas*.
- Rice, J. A., & Maccarthy, P. (1991). Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Org. Geochem*, *17*(5), 635–648.
- Römheld, V., & Marschner, H. (1990). Genotypical differences among gramineous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. *Plant and Soil*, *53*, 129–141.



- SAGARPA. (2015). *Estudio multidimensional para la identificación de la demanda de pasta de ajo y ajo picado para los mercados de Medio Oriente.*
- Sandhu, A. S., Sharma, S. P., Bhutani, R. D., & Khurana, S. C. (2014). Effects of planting date and fertilizer dose on plant growth attributes and nutrient uptake of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 196–202.
- Sela, U., Ganor, S., Hecht, I., Brill, A., Miron, T., & Rabinkov, A. (2004). Allicin inhibits SDF-1 $\alpha$ -induced T cell interactions with fibronectin and endothelial cells by down-regulating cytoskeleton rearrangement, Pyk-2 phosphorylation and VLA-4 expression. *Immunology*, 111, 391–399.
- Shahidur, R., Aminul, I., Shahidul, H., & Abdul, K. (2004). Effects of planting date and gibberellic acid on the growth and yield of Garlic (*Allium sativum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(3), 344–352.
- Sistema Producto Ajo. (2012). *Estudio de diagnóstico y parametros de decisión para el fortalecimiento y desarrollo del mercado mexicano del ajo.* 1–544.
- Spencer, W. F. (1966). Effect of copper on yield and uptake of phosphorus and iron by citrus seedlings grown at various phosphorous levels. *Soil Sci*, 102, 269–299.
- Tadesse, S. T., & Adem, B. E. (2014). Evaluating the Role of Nitrogen and Phosphorous on the Growth Performance of Garlic (*Allium sativum* L.). *Asian Journal of Agricultural Research*, 8(4), 211–217. <https://doi.org/10.3923/ajar.2012.211.217>
- Tefera, A. H., Kebede, S. G., & Mola, G. T. (2021). Optimal Irrigation Scheduling for Garlic (*Allium sativum* L.) in the Central Highland Vertisols Areas of Ethiopia. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(2), 308–316. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.06.015>
- Thurman, E. M. (1985). Aquatic Humic Substances. In *Organic Geochemistry of Natural Waters* (pp. 273–261).
- Valenzuela Cornejo, P., Álvarez Aviles, A., Huez López, M. A., Contreras Montaña, J., & Ocampo Ramirez, G. (2012). Rendimiento y calidad de ajo (*allium sativum* l.) Establecido en nueve fechas de siembra en a región de la costa de hermosillo. *Biotecnia*, 315–318.
- Valenzuela, P., Chávez, M., Valenzuela, E., Álvarez, A., López-Elías, J., Huez, M. A., & Valenzuela, M. A. (2009). Estudio de fechas de siembra para producción de ajo jaspeado (*allium sativum* l.) En el distrito de riego de sahuaripa, en la sierra de sonora. *BIOtecnica*, 1(1), 12–14.
- Vaughan, D., Malcolm, R. E., & Ord, B. G. (1985). Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In *Soil organic Matter and Biological Activity* (pp. 78–100).
- Velásquez V., R., & Amador R., M. D. (2009). *Enfermedades bióticas del ajo y chile en Aguascalientes y Zacatecas.*
- Velásquez V., R., & Medina A., M. (2004). *Guía para conocer y manejar las enfermedades más comunes de la raíz del ajo en Aguascalientes y Zacatecas.*
- Velásquez V., R., & Medina A., M. (2007). Guía para identificar las enfermedades de la raíz del ajo en Aguascalientes y Zacatecas. In *Tecnología reciente del cultivo de ajo* (pp. 66–79).

- Velásquez V., R., Mena C., J., Reveles H., M., Amador R., M. D., & Schwartz H., F. (2010). *El virus de la mancha amarilla del iris: una nueva amenaza para el ajo y la cebolla en Aguascalientes y Zacatecas*.
- Villalobos, F. J., Testi, L., Rizzalli, R., & Orgaz, F. (2004). Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated garlic (*Allium sativum* L.) in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 64(3), 233–249. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00198-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00198-7)
- Yatsenko, V., Ulianych, O., & Yanowskyy, Y. (2020). Effect of iron, zinc and boron on the growth, physiological state, productivity and storability of *Allium sativum* L. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4), 33–42. <https://doi.org/10.15421/2020>
- Yousuf, M., Hasan, M., Brahma, S., Sultana, D., & Kabir, A. F. (2016). Responses of garlic to zinc, copper, boron and molybdenum Application in grey terrace soil of amnura soil series. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 41(1), 85–90. <https://doi.org/10.3329/bjar.v41i1.27673>
- Zanão Júnior, L. A. (2012). Importância e função dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento de plantas. In *Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas* (pp. 3–21).
- Zanão Júnior, L. A., Ventura, J., & Zambolin, L. (2012). *Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas*.
- Zeinali, A., & Moradi, P. (2015). The Effects of Humic Acid and Ammonium Sulfate Foliar Spraying and Their Interaction Effects on the Qualitative and Quantitative Yield of Native Garlic (*Allium sativum* L.). *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 4(12S), 205–211.

#### **Citas de internet**

- Asgharipour, M. R., & Arshadi, M. J. (2021). Effect Of planting date and plant density on yield and yield components of garlic in farman. In *Advances in Environmental Biology*. <https://link.gale.com/apps/doc/A287109548/AONE?u=anon~3a316914&sid=google Scholar&id=7ca24edd>
- Ballabh, K., Rana, D. K., & Rawat, S. S. (2013). Effects of foliar application of micronutrients on growth, yield and quality of onion. *Indian Journal of Horticulture*, 70(2), 260–265. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijh&volume=70&issue=2&article=018>
- Espinoza, G. (2020). *Ajo, Allium sativum, información de la planta. Propiedades y beneficios*. <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/verduras/ajo-allium-sativum.htm#tallo>
- FAO. (2021). *Cultivos y productos de ganadería*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP>
- INEGI. (n.d.). *Población*. Retrieved July 20, 2021, from <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- INTAGRI S.C. (s. f.). *Importancia del Azufre (S) en las Plantas*. Retrieved August 10, 2021, from <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas>
- JILOCA industrial. (2021). *Ácidos Húmicos*. <https://www.acidoshumicos.com/acidos-humicos/>

- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (s. f.). *Ajos Frescos*. Retrieved July 20, 2021, from [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/plan\\_exportador/Penx\\_2025/PDM/mexico/perfil\\_ajos.html](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/Penx_2025/PDM/mexico/perfil_ajos.html)
- Ricardo. (2020). *Fertilización en el cultivo de ajo*. Revista INFOAGRO. <https://mexico.infoagro.com/fertilizacion-en-el-cultivo-de-ajo/>
- SIAP. (2021). *Datos Abiertos*. [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)
- USDA. (2000a). *Agricultural Outlook*. [https://play.google.com/books/reader?id=7OwSR\\_sFtRgC&pg=GBS.PP4&hl=es](https://play.google.com/books/reader?id=7OwSR_sFtRgC&pg=GBS.PP4&hl=es)
- USDA. (2000b). *Allium sativum - National Plant Data Center*. <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=ALSA2>
- W. Simon, P., & USDA. (2006). *The origins and distribution of garlic: How many garlics are there?* <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/madison-wi/vegetable-crops-research/docs/simon-garlic-origins/>
- Yang, F., Liu, S., Wang, X., Zhang, Y., & Zang, J. (2004). Effects of sulfur on physiological and biochemical indices and nutrition quality of garlic. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology*, 15(11), 2095–2098. <https://europepmc.org/article/med/15707320>

## 6. APÉNDICES

**Cuadro 6.1 Descripción de cada tratamiento**

<b>Trata miento</b>	<b>Combinación de factores</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación de tratamientos</b>
1	A1, B1, C4	1er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, sin humatos	1:1:4
2	A1, B1, C1	1er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis baja de humatos	1:1:1
3	A1, B1, C2	1er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis media de humatos	1:1:2
4	A1, B1, C3	1er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis alta de humatos	1:1:3
5	A1, B2, C4	1er fecha de siembra, dosis media de microelementos, sin humatos	1:2:4
6	A1, B2, C1	1er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis baja de humatos	1:2:1
7	A1, B2, C2	1er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis media de humatos	1:2:2
8	A1, B2, C3	1er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis alta de humatos	1:2:3
9	A1, B3, C4	1er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, sin humatos	1:3:4
10	A1, B3, C1	1er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis baja de humatos	1:3:1
11	A1, B3, C2	1er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis media de humatos	1:3:2
12	A1, B3, C3	1er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis alta de humatos	1:3:3
13	A1, B4, C1	1er fecha de siembra, sin microelementos, dosis baja de humatos	1:4:1
14	A1, B4, C2	1er fecha de siembra, sin microelementos, dosis media de humatos	1:4:2
15	A1, B4, C3	1er fecha de siembra, sin microelementos, dosis alta de humatos	1:4:3

16	A1, B4, C4	1er fecha de siembra, sin microelementos, sin humatos	1:4:4
17	A2, B1, C4	2da fecha de siembra, dosis baja de microelementos, sin humatos	2:1:4
18	A2, B1, C1	2da fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis baja de humatos	2:1:1
19	A2, B1, C2	2da fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis media de humatos	2:1:2
20	A2, B1, C3	2da fecha de siembra dosis baja de microelementos, dosis alta de humatos	2:1:3
21	A2, B2, C4	2da fecha de siembra, dosis media de microelementos, sin humatos	2:2:4
22	A2, B2, C1	2da fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis baja de humatos	2:2:1
23	A2, B2, C2	2da fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis media de humatos	2:2:2
24	A2, B2, C3	2da fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis alta de humatos	2:2:3
25	A2, B3, C4	2da fecha de siembra, dosis alta de microelementos, sin humatos	2:3:4
26	A2, B3, C1	2da fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis baja de humatos	2:3:1
27	A2, B3, C2	2da fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis media de humatos	2:3:2
28	A2, B3, C3	2da fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis alta de humatos	2:3:3
29	A2, B4, C1	2da fecha de siembra, sin microelementos, dosis baja de humatos	2:4:1
30	A2, B4, C2	2da fecha de siembra, sin microelementos, dosis media de humatos	2:4:2
31	A2, B4, C3	2da fecha de siembra, sin microelementos, dosis alta de humatos	2:4:3
32	A2, B4, C4	2da fecha de siembra, sin microelementos, sin humatos	2:4:4
33	A3, B1, C4	3er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, sin humatos	3:1:4
34	A3, B1, C1	3er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis baja de humatos	3:1:1
35	A3, B1, C2	3er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis media de humatos	3:1:2
36	A3, B1, C3	3er fecha de siembra, dosis baja de microelementos, dosis alta de humatos	3:1:3
37	A3, B2, C4	3er fecha de siembra, dosis media de microelementos, sin humatos	3:2:4

<b>38</b>	A3, B2, C1	3er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis baja de humatos	3:2:1
<b>39</b>	A3, B2, C2	3er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis media de humatos	3:2:2
<b>40</b>	A3, B2, C3	3er fecha de siembra, dosis media de microelementos, dosis alta de humatos	3:2:3
<b>41</b>	A3, B3, C4	3er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, sin humatos	3:3:4
<b>42</b>	A3, B3, C1	3er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis baja de humatos	3:3:1
<b>43</b>	A3, B3, C2	3er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis media de humatos	3:3:2
<b>44</b>	A3, B3, C3	3er fecha de siembra, dosis alta de microelementos, dosis alta de humatos	3:3:3
<b>45</b>	A3, B4, C1	3er fecha de siembra, sin microelementos, dosis baja de humatos	3:4:1
<b>46</b>	A3, B4, C2	3er fecha de siembra, sin microelementos, dosis media de humatos	3:4:2
<b>47</b>	A3, B4, C3	3er fecha de siembra, sin microelementos, dosis alta de humatos	3:4:3
<b>48</b>	A3, B4, C4	3er fecha de siembra, sin microelementos, sin humatos	3:4:4

---