

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de la Fertilización en Cuatro Variedades de Ajo (*Allium sativum* L.)  
Provenientes del Estado de Aguascalientes, México

Por:

**AARON ALEJANDRO MAXIMO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Agosto, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de la Fertilización en Cuatro Variedades de Ajo (*Allium sativum* L.)  
Provenientes del Estado de Aguascalientes, México

Por:

**AARON ALEJANDRO MAXIMO**

TESIS

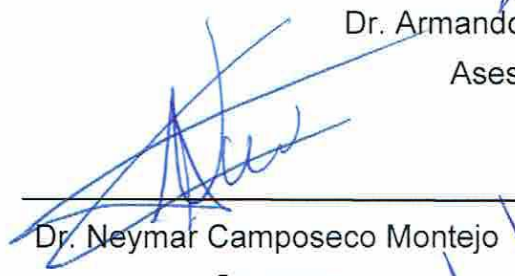
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Armando Hernández Pérez  
Asesor Principal



Dr. Neymar Camposeco Montejo  
Coasesor



Dr. Valentín Robledo Torres  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Agosto, 2024

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Aarón Alejandro Máximo

## DEDICATORIA

A mis padres, **Pablo Alejandro Espinosa** y **María de los Ángeles Maximo Fernández**, quienes han cuidado de mí, sin importar las circunstancias ni la distancia, por ese apoyo incondicional que cruza fronteras, por esa enseñanza llena de valores y virtudes, la cual me ayuda a luchar cada día, sin olvidar que cada logro conlleva un sacrificio, gracias por siempre estar ahí, gracias por siempre luchar junto a mí, por todo eso y mucho más, les dedico este “pedacito de papel”.

A mi hermano, **Noé Alejandro Maximo**, gracias por tu apoyo y aliento incondicional que me han ayudado a conquistar este logro, aquí agradezco y comparto el fruto de ese largo camino recorrido, de esa lucha constante, de ese sacrificio compartido, pero por fin logrado, en hora buena gracias por estar conmigo en esta meta cumplida.

A mis abuelos paternos, **Calixto Alejandro Salmerón** y **Gloria Espinosa Díaz**, y a mis abuelos maternos, **Pablo Maximo de la Luz** y **Trinidad Fernández Lugardo**, que por razones universales no tuve la fortuna de haber compartido más tiempo con cada uno de ustedes, pero a pesar de eso, sé que fueron personas honorables y ejemplos a seguir y si ustedes me hubiesen visto lograr esta meta se sentirían orgullosos, por saber que su descendencia se supera y se inspira en el sacrificio grabado de sus manos trabajadoras.

A mi familia, a mis **tíos** y **primos** que siempre me alentaron a seguir adelante, agradezco por ese apoyo dado y comparto una meta más cumplida de mi vida.

Dedicado a ustedes, ya que a ese apoyo recibido culmino una meta más lograda en mi vida, mi carrera profesional. En hora buena, comparto y acredito mi gratitud y cariño hacia ustedes. Por todo, **¡Gracias!**

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido vivir un sueño más de mi vida, por haberme permitido compartir este logro con mis padres y hermano, por haberme acompañado y cuidado en cada uno de mis pasos y por haberme guiado hacia la meta. Gracias por darme fuerza, bondad, paz y amor en cada uno de mis sueños.

A mi Alma Mater, la Gloriosa **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por darme la oportunidad de formar parte de una familia que trasciende distancias, por dejarme formar parte del nido y por todas esas experiencias vividas que, siempre recordare en mi corazón. Gracias por compartirme conocimientos y formarme como profesionalista, gracias por todos esos años, los mejores de mi vida; ¡gloria y prosperidad a la gloriosa narro!

A mis Asesores, **Dr., Armando Hernández Pérez** quien me dio la oportunidad, recibimiento y confianza para el desarrollo de este trabajo de investigación, gracias por compartir sus conocimientos y por todo el apoyo y dedicación dedicados a este trabajo.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por sus conocimientos compartidos, por su apoyo, su enseñanza y por su valiosa participación en el presente trabajo de tesis.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres** por su apoyo y su valiosa participación en el presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos **Daniel** y **Gonzalo** quienes me compartieron momentos trascendibles, gracias por su apoyo y gracias por esos momentos, en especial por esas tardes de gimnasio que nunca olvidare y recordare por siempre.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen.....	3
2.2. Clasificación taxonómica.....	4
2.3. Importancia del ajo .....	5
2.4. Producción mundial.....	5
2.5. Producción de ajo en México .....	7
2.6. Descripción morfológica .....	10
2.6.1. .... <i>Raíz</i> .....	10
2.6.2. .... <i>Pseudotallo o falso tallo</i> .....	11
2.6.3. .... <i>Tallo verdadero</i> .....	12
2.6.4. .... <i>Tallo floral</i> .....	13
2.6.5. .... <i>Hojas</i> .....	13
2.6.6. .... <i>Bulbo</i> .....	14
2.6.7. .... <i>Bulbillos o dientes</i> .....	15
2.6.8. .... <i>Inflorescencia</i> .....	16
2.6.9. .... <i>Semilla verdadera</i> .....	18

2.7.	Fisiología .....	19
2.7.1.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 0: Brotación</i> .....	20
2.7.2.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hojas (brote principal)</i> .....	22
2.7.3.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales</i> .....	23
2.7.4.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta</i> .....	25
2.7.5.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de la inflorescencia.</i> .....	27
2.7.6.	..... <i>Etapa de crecimiento principal 6: floración</i> .....	28
2.7.7.	..... <i>Etapa de crecimiento principal: senescencia, comienzo de la latencia.</i> .....	29
2.8.	Variedades .....	31
2.9.	Fertilización .....	36
2.9.1.	..... <i>Nutrición balanceada</i> .....	36
2.9.2.	..... <i>Curvas de absorción en el cultivo de ajo</i> .....	37
2.9.3.	..... <i>Nitrógeno</i> .....	39
2.9.4.	..... <i>Fósforo</i> .....	39
2.9.5.	..... <i>Potasio</i> .....	40
2.9.6.	..... <i>Azufre</i> .....	40
2.9.7.	..... <i>Calcio</i> .....	41
2.9.8.	..... <i>Magnesio</i> .....	41
2.10.	Principales enfermedades.....	41
2.11.	Principales plagas .....	44
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	47
3.1.	Localización del sitio experimental .....	47
3.1.1.	..... <i>Climatología</i> .....	47
3.1.2.	..... <i>Suelo</i> .....	48
3.2.	Instalacion del experimento.....	48
3.3.	Material vegetal .....	48
3.4.	Tratamientos .....	49
3.5.	Diseño experimental.....	50

3.6.	Análisis de varianza .....	50
3.7.	Labores culturales .....	50
3.1.	VARIABLES EVALUADAS .....	53
3.1.1.	..... <i>Diámetro promedio ecuatorial del bulbo (Db)</i> .....	53
3.1.2.	..... <i>Peso medio de bulbo (Pb)</i> .....	53
3.1.3.	..... <i>Numero promedio de dientes por bulbo (NoD)</i> .....	54
3.1.4.	..... <i>Peso promedio de dientes (Pd)</i> .....	54
3.1.5.	..... <i>Diámetro promedio de dientes (Dd)</i> .....	54
3.1.6.	..... <i>Altura media de planta (Ap)</i> .....	54
3.1.7.	..... <i>Diámetro promedio del pseudotallo (Dps)</i> .....	55
3.1.8.	..... <i>Rendimiento promedio de bulbo (Ren)</i> .....	55
3.1.9.	..... <i>Peso seco promedio (Ps)</i> .....	55
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
4.1.	Prueba de medias .....	56
V.	CONCLUSIONES .....	64
VI.	LITERATURA CITADA .....	65
VII.	APENDICE .....	72



## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Principales estados productores de ajo en México en el año 2022..... 9
- Cuadro 2.** Interpretación sintética del agrupamiento de ajos en grupos ecofisiológicos..... 33
- Cuadro 3.** Comparación de prueba medias y su grado de significancia estadística entre las variedades de ajo para altura de planta y diámetro de tallo. .... 56
- Cuadro 4.** Comparación de prueba medias y su grado de significancia estadística entre las variedades de ajo para las variables componentes del rendimiento.

58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Producción mundial y area cosechada de ajo verde en el periodo 2010-2022. ....	6
<b>Figura 2.</b>	Producción de ajo verde por region mundial en 2022. ....	6
<b>Figura 3.</b>	Principales países productores de ajo en 2022.....	7
<b>Figura 4.</b>	Producción nacional y area cosechada de ajo verde en el periodo 2010-2022 .....	8
<b>Figura 5.</b>	Aspecto general de una planta de ajo .....	10
<b>Figura 6.</b>	Aspecto general del sistema radical de la planta de ajo.....	11
<b>Figura 7.</b>	Falso tallo formado por las vainas de las hojas.....	12
<b>Figura 8.</b>	Aspecto general del tallo verdadero, falso tallo y tallo floral.....	12
<b>Figura 9.</b>	Hojas del cultivo de ajo .....	13
<b>Figura 10.</b>	Corte transversal y longitudinal de un bulbo maduro de ajo.....	14
<b>Figura 11.</b>	Cortes longitudinal y transversal de un bulbillo de ajo mostrando A: hoja membranosa que envuelve al bulbillo; B: hoja de reservas nutritivas; C: hoja de brotación; D: primera hoja completa; E: segunda hoja completa; F: tercera hoja completa; G: disco de la futura planta; H inicio de formación de raíces; I zona de separación del bulbo madre.....	16
<b>Figura 12.</b>	Escapo floral e inflorescencia de una planta de ajo. ....	17
<b>Figura 13.</b>	Inflorescencia de ajo con presencia de bulbillos aéreos. ....	17
<b>Figura 14.</b>	Semilla verdadera de ajo y cebolla y una comparación de plántulas al mismo estado de desarrollo. ....	18
<b>Figura 15.</b>	Diagrama esquemático del crecimiento y desarrollo del ajo (tipo cuello duro) según la escala BBCH ampliada (código de tres dígitos) con superposición de las principales etapas de crecimiento.....	20

- Figura 16.** Estadios de crecimiento principales 0 y 1: bulbos y dientes en plena maduración después de la cosecha (profundamente inactivo) VID <20%-30% (000); ruptura de dormancia VID ≥70% (condiciones óptimas para la siembra) (002); la hoja del brote alcanzó la punta de la paloma VID= 100%. (003). La hoja del brote atraviesa la superficie del suelo (009); y la segunda hoja (lámina) plegada muy visible (>3 cm) (102)..... 22
- Figura 17.** Tercer hoja plegada claramente visible (103); y quinta hoja plegada claramente visible y primera hoja desplegada (105) con hoja de almacenamiento funcional todavía..... 23
- Figura 18.** Séptima hoja (lámina) plegada claramente visible, hojas viejas desplegadas y hoja de almacenamiento consumida (107); y la décima hoja plegada es claramente visible, la primera hoja sin láminas de cada yema lateral comienza a dosificarse (escapo) ≤5 mm de longitud desde el disco basal del tallo (110/201/500, respectivamente; etapas superpuestas)..... 25
- Figura 19.** Doceava hoja plegada claramente visible, longitud de la hoja sin lámina del brote lateral alcanza los 20 mm y el tallo floral alcanza el 75% de la longitud total del pseudotallo (112/206/503, respectivamente) todas las hojas visibles, la hoja más interna de cada yema lateral comienza a hincharse y la punta del tallo es claramente visible (>3 cm) (400/504, respectivamente)..... 26
- Figura 20.** El 70% del diámetro esperado de los bulbos alcanzó la forma de un tallo como un 'pigtal' (407/506, respectivamente); El 100% del diámetro esperado de los bulbos alcanzó la planta aún erecta y varias hojas (3-5) verdes y el tallo con forma de 'cayado de alfil' (409/507, respectivamente); y la espata estalló con inflorescencia visible y las últimas 5-3 hojas comienzan a doblarse (600/900). ..... 28
- Figura 21.** Corrientes migratorias que participaron en la distribución de (*Allium Sativum L*). Desde su centro de origen "A"; B, C, D y E son considerados centros secundarios. .... 32

- Figura 22.** Tipos de ajos comerciales más comunes: (A) rosados, (B) morados, (C) blancos tempraneros, (D) blancos tardíos, (E) colorados y (F) Castaños. . 34
- Figura 23.** Patrón de absorción total de N, P y K en ajo..... 38
- Figura 24.** Patrón de absorción total de Fe, Zn, Mn, Cu en el cultivo de ajo. .... 38

## RESUMEN

El ajo (*Allium sativum* L.) es un cultivo de importancia económica para el país y por sus peculiares características como aroma y sabor adquiere una importancia social. El bulbo es utilizado para el consumo humano, culinario, industrial y farmacéutico. Además, algunos autores mencionan que, la planta de ajo presenta tolerancia a heladas y sequía. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización en función de una meta de rendimiento establecida para las diferentes variedades de ajo. En el ciclo agrícola otoño invierno (2022-2023) en el Campo Experimental del departamento de Horticultura en Buenavista, Saltillo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se sembraron 4 variedades de ajo provenientes del estado de Aguascalientes, bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura media de planta (Ap), diámetro promedio de pseudotallo (Dps), diámetro de medio de bulbo (Db), peso promedio de bulbo (Pb), número de dientes (Nod), peso promedio de dientes (Pd), diámetro medio de dientes (Dd), peso seco promedio de bulbo (Ps) y rendimiento promedio de bulbo (Ren). Se realizó un análisis de varianza (ANVA), prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). En el análisis de varianza se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las variedades para todas las variables evaluadas. La variedad piedra blanca presentó el mayor crecimiento de planta y un rendimiento promedio de  $27.95 \text{ ton/ha}^{-1}$ , mientras que la variedad temprano coronel presentó el menor rendimiento promedio de bulbo con  $14.86 \text{ ton/ha}^{-1}$ . Con una fertilización adecuada, se puede obtener rendimientos superiores a lo establecido.

**Palabras clave:** Ajo. rendimiento, fertilización, variedades, meta de rendimiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum L.*) es un cultivo de importancia económica y social debido a sus propiedades nutritivas, por su peculiar sabor y aroma, siendo su principal uso con fines culinarios, seguido por el área agroindustrial y medicinal (Metwally *et al.* 2012).

El ajo se remonta a 5000 años antes de Cristo; en tiempos de los faraones de Egipto los trabajadores de las pirámides lo consumían en grandes cantidades porque consideraban que el ajo les daba fuerza y poder para soportar las fatigas (Pizón, 2007).

*A. sativum* posee un alto valor nutritivo y contiene muy pocas calorías, rico en vitamina C, vitamina B6 y manganeso. Disminuye niveles de colesterol y contiene antioxidantes que protegen contra el daño celular y el envejecimiento. Puede disminuir el riesgo de sufrir Alzheimer y demencia (SADER, 2021).

En México los principales estados productores fueron Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Sonora, Nuevo León, Baja California, Aguascalientes, San Luis Potosí, Oaxaca e Hidalgo. Sin embargo, el cultivo se tiene registrado en 21 estados del país (SIAP, 2022).

Reveles *et al.* 2009 menciona que, es necesario la adición de nutrientes a través de la aplicación de fertilizantes, para lograr cosechas en calidad y cantidad que hagan rentable el sistema de producción.

Siqueira y Marcelo (2024) menciona que, uno de los beneficios de una nutrición combinada de fertilizantes granulados y aplicaciones de fertirrigación de fertilizantes solubles aumentan un 25% el rendimiento comercial.

Sin embargo, Cavagnaro y Burba (2022) mencionan que, las características físicas como el color del bulbo están condicionadas a varios factores incluyendo el genotipo, estrés biótico y abiótico, prácticas agrícolas, así como características climáticas y edáficas.

### **1.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de la fertilización en función de una meta de rendimiento de las diferentes variedades de ajo.

### **1.2. Objetivos específicos**

Determinar el efecto de la fertilización en el crecimiento de las diferentes variedades de ajo.

Alcanzar la meta de rendimiento propuesta en las diferentes variedades de ajo.

### **1.3. Hipótesis**

Hi. Al menos una de las variedades demostrara un mayor crecimiento y rendimiento que el resto.

Ho. Ninguna de las variedades de ajo, presentará un mayor crecimiento y rendimiento.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen

El ajo es una planta de nombre científico (*Allium sativum* L.) el término *Allium* procede de la palabra *All*, que significa “ardiente o caliente” mientras que el nombre “*sativum*” procede del latín que significa “cultivado” (Ramírez *et al.* 2016). El ajo existió como especie silvestre y se domesticó por primera vez en las regiones montañosas de Asia Central de donde es originaria la cebolla (Pízon, 2007). En el Viejo Mundo, las culturas egipcias e indias se referían al ajo hace 5000 años y hay claras evidencias históricas de su uso por los babilonios hace 4500 años y por los chinos hace 2000 años. Algunos escritos sugieren que el ajo se cultivaba en China hace 4000 años. (Philip, 2020).

Sería originario del antiguo Turkestán, límite con China, Afganistán e Irán (hoy Turkmenistán, Kirguizistán, Kazajstán, Tayikistán y Uzbekistán), desde donde se distribuyó en la antigüedad, hace más de 5.000 años, hacia el este, a China e India, y hacia el oeste, al norte del continente europeo, y a las costas del mar Mediterráneo. Luego de varios cientos de años de cultivo en estas nuevas regiones habrían tenido lugar procesos de adaptación climática, dando lugar así a los numerosos cultivares y de acuerdo con los registros, llega a América en el cuarto viaje de Cristóbal Colón, al ingresar al continente, es adoptado por los aborígenes sudamericanos que habitaban los valles de altura de la cordillera de los Andes (Burba y López, 2022).



En la actualidad, el ajo crece de forma silvestre sólo en Asia Central (centrado en Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán). Anteriormente en la historia, el ajo crecía silvestre en una región mucho más grande y, de hecho, el ajo silvestre puede haber aparecido en un área que va desde China hasta la India, pasando por Egipto y Ucrania. Esta región donde el ajo ha crecido en estado silvestre se conoce como su "centro de origen", ya que es la región geográfica donde se originó el cultivo y el único lugar donde floreció en estado silvestre (Philip, 2020).

## 2.2. Clasificación taxonómica

La posición taxonómica de *Allium* y géneros relacionados ha sido durante mucho tiempo un tema de controversia. En las primeras clasificaciones de las angiospermas hechas por Melchior en 1964 se ubicaban en las *Liliaceae*. Más tarde, se incluyeron con mayor frecuencia en las *Amaryllidaceae*, sobre la base de la estructura de la inflorescencia. En el tratamiento taxonómico más reciente y competente de las monocotiledóneas, *Allium* y sus parientes cercanos fueron reconocidos como una familia distinta, las *Alliaceae*, cerca de las *Amaryllidaceae*. Con ello, Takhtajan en 1997 propone la siguiente jerarquía taxonómica (Fritsch and Friesen, 2002):

**Clase:** *Liliopsida*

**Subclase:** *Liliidae*

**Superorden:** *Lilianae*

**Orden:** *Amaryllidales*

**Familia:** *Alliaceae*

**Subfamilia:** *Allioideae*

**Tribu:** *Allieae*

**Género:** *Allium*

**Especie:** *Allium Sativum* L.

### **2.3. Importancia del ajo**

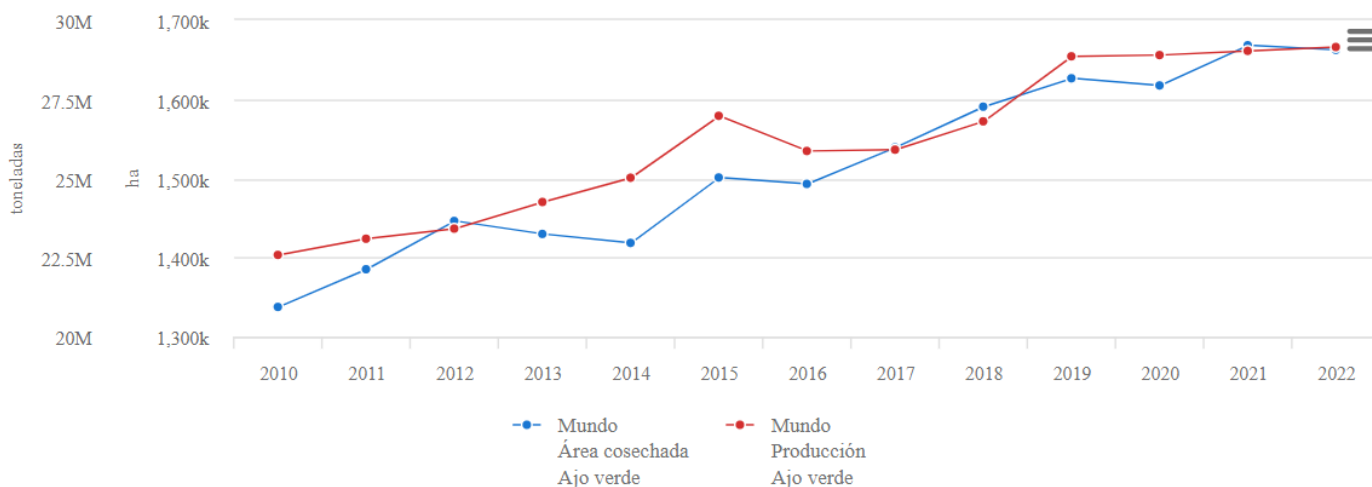
El ajo es una de las hortalizas más antiguas usadas por el hombre, extendiéndose al sur de Europa y llegando al continente americano durante la llegada y conquista de los españoles. De origen centro asiático, es uno de los ingredientes fundamentales de la cocina mediterránea, adoptado hoy en día por muchas cocinas en el mundo como la mexicana. Hay muchas variedades de ajo, siendo el más común el ajo blanco. Lo hay también rosa o morado, gigante y miniatura (FIRCO, 2017).

La producción de ajo tiene un gran potencial económico en México, ya que el ajo se ha convertido en un cultivo de alto valor para la exportación, principalmente a países europeos (INTAGRI, 2024).

### **2.4. Producción mundial**

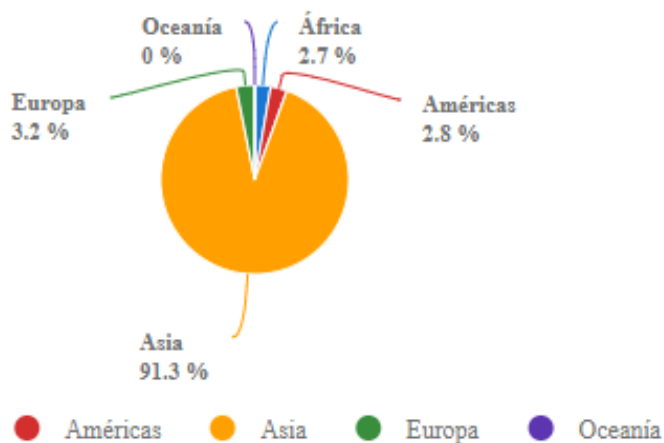
La producción mundial de ajo ha crecido durante los últimos años, para el año 2010 la producción mundial de ajo verde radicaba en las 22,580,353.79 ton, cosechadas en un área de 1,337,475 ha teniendo un rendimiento promedio de 16.88 ton ha<sup>-1</sup>, mientras que para el año 2022 la producción mundial de ajo verde fue de 29,028,026.95 ton con una superficie cosechada de 1,668,200 ha con un rendimiento promedio de 17.4 ton ha<sup>-1</sup>, lo cual, representa un incremento del 22.21% respecto a la producción mundial de ajo verde en el periodo 2010-2022 (FAOSTAT, 2023).

En la figura 1 se muestra el incremento de la producción mundial de ajo verde en el periodo 2010-2022 donde se muestra que en el año 2019 se presentó el mayor incremento en la producción mundial de ajo considerando que en el año 2018 se producían 26,800.915.91 ton y para el siguiente año paso a una producción de 28,855,623.37 ton.



**Figura 1.** Producción mundial y área cosechada de ajo verde en el periodo 2010-2022. Fuente: FAOSTAT, 2023

Aunque el ajo es un cultivo que se domesticó en Asia Central, razón por la cual su producción y consumo es mayor en aquella región del mundo, su sabor fuerte característico le permitió ser dispersado por todo el mundo (Producepay, 2022). En la figura 2 se muestra la producción de ajo verde por región mundial, siendo Asia la región líder que produce el 91.3 % de toda la producción mundial, en segundo lugar, está el continente europeo con un 3.2 %, por su parte el continente americano se queda en tercer lugar produciendo el 2.8 % de la producción mundial de ajo verde (FAOSTAT, 2023).



**Figura 2.** Producción de ajo verde por región mundial en 2022. Fuente: FAOSTAT, 2023.

China es el país que lidera la producción mundial de ajo, en la figura 3 se muestra a los 10 principales países productores mostrando a china continental como líder con una producción de 20,191,817.04 ton, seguido de India con una producción de 1,862,290 ton y en tercer lugar a Bangladesh con una producción de 364,465.54 ton (FAOSTAT, 2023)

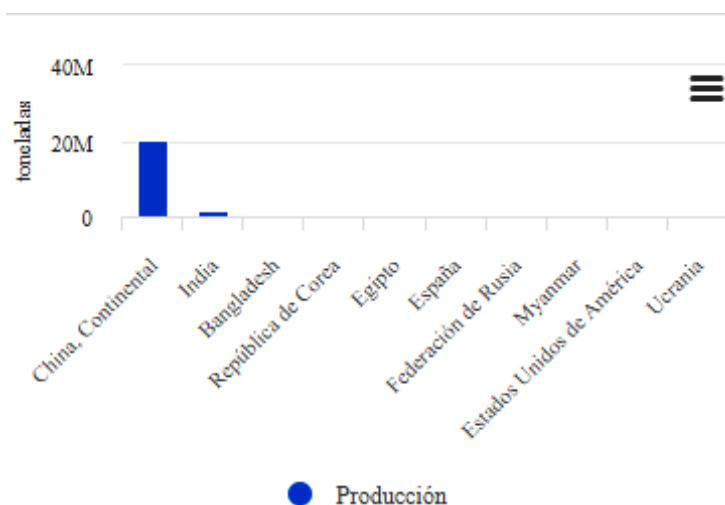
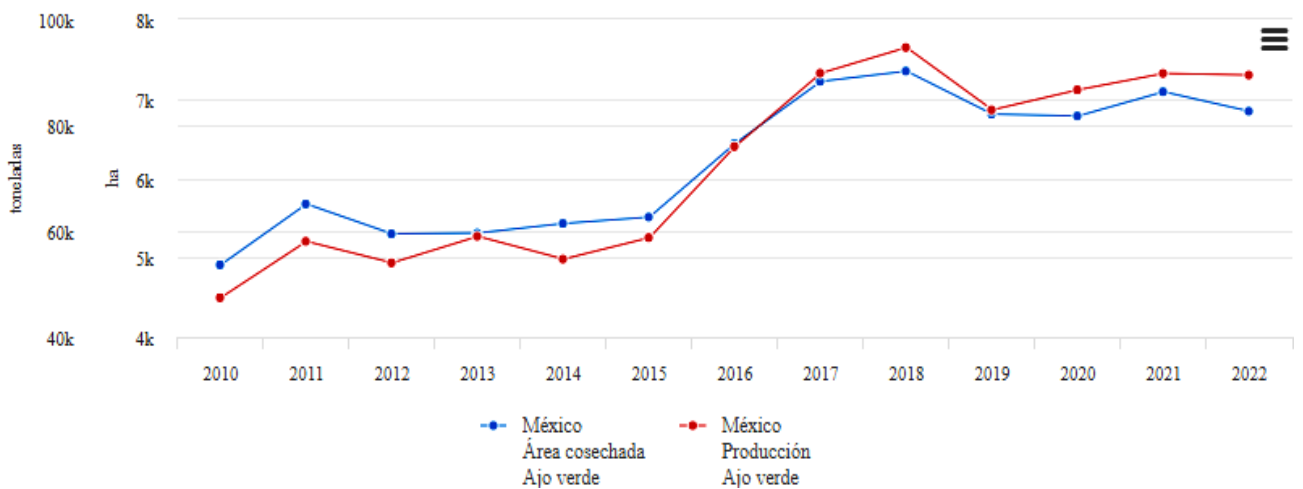


Figura 3. Principales países productores de ajo en 2022. Fuente: FAOSTAT, 2023

## 2.5. Producción de ajo en México

Hoy en día es considerado como una de las hortalizas más rentable a nivel nacional. Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Australia, Brasil, Francia y Martinica, los cuales representan el 98.9 por ciento de las ventas al exterior de este producto (FIRCO, 2017).

En los últimos años México ha tenido un incremento considerable en su producción de ajo verde, a pesar de registrar en los años 2012, 2014 y 2019 una disminución en su producción siendo este último año la disminución más significativa durante el periodo 2010-2022. En la figura 4 se muestra el aumento que ha tenido la producción nacional de ajo verde, desde el año 2010 con una producción de 47,429 ton, cosechadas en un área de 4,909 ha. Sin embargo, para el año 2022 la producción radica en 89,487.69 ton, cosechadas en un área de 6,843 ha, lo que representa un incremento significativo en la producción del 46.99 % (FAOSTAT, 2023).



**Figura 4.** Producción nacional y area cosechada de ajo verde en el periodo 2010-2022. Fuente: FAOSTAT, 2023.

SADER en 2021 menciona que, en los últimos años, el cultivo de ajo ha tomado importancia en México, debido a que se cultiva en 21 entidades del país, además, menciona que para el cierre de 2020 México se ubicó en el noveno exportador mundial de esta hortaliza, siendo el principal comprador Estados Unidos, con 86.8 %, seguido de Australia, 7.0 %, y Francia, con una participación de 2.3 % de las ventas al exterior.

En el cuadro 1 se muestra que para el año 2022 la producción nacional de ajo fue de 94, 428.47 toneladas cosechadas en una superficie de 7,335.58 hectáreas, con un rendimiento promedio de 12.87 ton ha<sup>-1</sup>, donde los principales estados productores fueron Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Sonora, Nuevo León, Baja California, Aguascalientes, San Luis Potosí, Oaxaca e Hidalgo. Sin embargo, el cultivo se tiene registrado en 21 estados de la República Mexicana, con valor de producción de \$ 2,024,812.21 pesos (SIAP, 2022).

**Cuadro 1.** Principales estados productores de ajo en México en el año 2022.

	Entidad	Superficie sembrada	Superficie cosechada	Producción	Rendimiento	PMR (\$/udm)	valor Producción (miles de pesos)
1	Zacatecas	2887.78	2887.78	49748.94	17.23	17155.95	853490.51
2	Guanajuato	1034	1034	12471.27	12.06	31926.63	398165.6
3	Puebla	685.84	685.84	6274.6	9.15	21141.51	132654.53
4	Sonora	718	718	5878.2	8.19	29148.82	171342.6
5	Nuevo León	437	437	4330.8	9.91	20282.72	87840.4
6	Baja California	357	357	3900.6	10.93	26236.14	102336.69
7	Aguascalientes	240	240	3599	15	21887.69	78773.81
8	San Luis Potosí	217	217	2196.68	10.12	19910.95	43737.98
9	Oaxaca	207.12	207.12	1657.83	8	23749.71	39372.99
10	Hidalgo	99.5	99.5	947.15	9.52	24827.59	23515.45
11	Querétaro	95.8	95.8	778.3	8.12	34410.49	26781.69
12	Guerrero	130.44	130.44	500.95	3.84	18259.8	9147.25
13	Chihuahua	38.4	38.4	481.8	12.55	39982.39	19263.52
14	Tlaxcala	75	75	468.3	6.24	21183.09	9920.04
15	Coahuila	46	46	447	9.72	22137.58	9895.5
16	Jalisco	20	20	292.2	14.61	35250	10300.05
17	Veracruz	23	23	236	10.26	14063.56	3319
18	Baja California Sur	20.2	20.2	192.44	9.53	23413.84	4505.76
19	Michoacán	3	3	21	7	15625	328.13
20	Nayarit	0.5	0.5	5.41	10.82	22317.7	120.74
<b>Total</b>		<b>7335.58</b>	<b>7335.58</b>	<b>94428.47</b>	<b>12.87</b>	<b>21442.82</b>	<b>2024812.21</b>

Fuente: SIAP, 2022.

Querétaro, Guerrero, Chihuahua, Tlaxcala, Coahuila, Jalisco, Veracruz, Baja California Sur, Michoacán y Nayarit también son estados productores de ajo solo que, a menor escala, aunque dentro de este grupo Chihuahua, Jalisco y Querétaro muestran un mayor PMR que el resto, y de estos los dos primeros estados se encuentran dentro de los 5 primeros con un mayor rendimiento promedio por hectárea.

## 2.6. Descripción morfológica

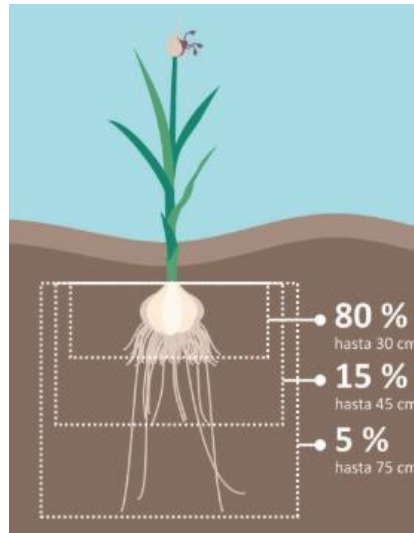
El ajo es una hortaliza, herbacea, cuyas características morfológicas se distinguen de otros cultivos *Allium* (Castillo, 2020). Planta anual, autógama, su parte comestible es un bulbo compuesto formado por dientes que generalmente son utilizados como semilla para su establecimiento en campo (Zamora, 2016). La planta del ajo llega a medir desde 30 hasta cerca de los 90 centímetros de altura, es una planta herbácea, monocotiledonea, bulbosa perenne, sus bulbos son odoríferos y sus raíces son adventicias (Reveles *et al.* 2009) (figura 5).



**Figura 5.** Aspecto general de una planta de ajo. Fuente: Elaboración propia

### 2.6.1. Raíz

Presenta raíz fasciculada, su coloración es blanca y con ramificaciones limitadas, son adventicias que se localizan entre 4 y 45 centímetros de profundidad, aunque llegan a medir hasta 70 y 80 centímetros de longitud (Carvajal, 2013 y Reveles *et al.* 2009) (figura 6).



**Figura 6.** Aspecto general del sistema radical de la planta de ajo. Fuente: Burba y Portela, 2022.

### 2.6.2. Pseudotallo o falso tallo

Las características morfológicas para *A. sativum* han sido debatidas por diversos autores, debido a que, no existen descripciones morfológicas detalladas y concretas para cada una de las partes que componen a la planta de ajo.

Burba y Portela en 2022 mencionan que, la planta adulta (Figura 7) presenta un falso tallo formado por las vainas de las hojas imbricadas, con una lígula en la intersección con la lámina. Estas últimas son planas, aquilladas y responsables de la arquitectura aérea de la planta. A su vez Reveles *et al.* en 2009 mencionan que, el falso tallo es corto y erecto y está constituido por las vainas de las hojas. En la base de las vainas de las hojas no se acumulan sustancias nutritivas y al morir se convierten en túnicas protectoras (llamadas catáfilas) del bulbo.

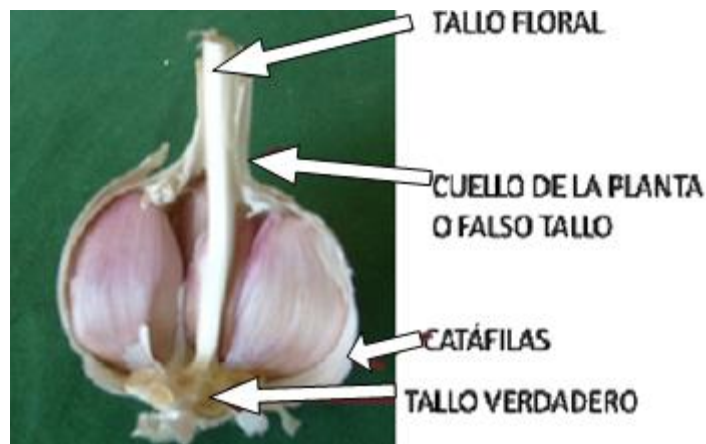




**Figura 7.** Falso tallo formado por las vainas de las hojas. Fuente: Burba y Portela 2022.

### 2.6.3. Tallo verdadero

El verdadero tallo mide cerca de 30 milímetros de diámetro y 5 milímetros de altura y tiene forma de plato, del cual nacen las hojas y raíces (figura 8) (Reveles *et al.* 2009). Por su parte, Pizón en 2007 menciona que, el tallo es un disco comprimido de mínimo espesor, cóncavo o convexo, situado en la base del bulbo y constituye el punto de partida de las hojas, los bulbillos y las raíces. El tallo es subterráneo, corto comprimido y cubierto por la base de la hoja, formadas desde la yema apical (Castillo, 2020).



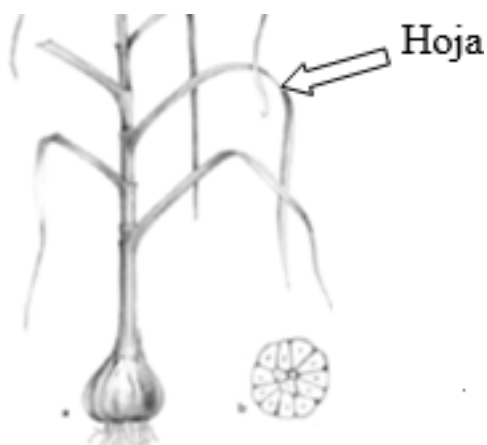
**Figura 8.** Aspecto general del tallo verdadero, falso tallo y tallo floral. Fuente: Reveles *et al.* 2009.

#### 2.6.4. Tallo floral

En varios ecotipos, el ápice del tallo cambia de vegetativo a reproductivo y entonces se prolonga en forma de un escapo que puede, o no, emerger de entre el falso tallo. El escapo remata en una inflorescencia en forma de umbela (figura 8) (Burba y Portela, 2022).

#### 2.6.5. Hojas

Las hojas del ajo son planas y algo acanaladas, característica que lo diferencia de la cebolla que las tiene cilíndricas y huecas en su interior. Morfológicamente la anchura de las mismas oscila sobre los 3 cm, terminan en punta y se distribuyen de forma alterna. La inserción de las hojas se modifica para formar las túnicas, con coloración diversa, de protección de los dientes y del bulbo (García, 1998). Las primeras hojas que se insertan en el disco basal, de afuera hacia adentro, se denominan estériles porque no forman “dientes” en sus axilas, y son también las que protegen el bulbo envolviéndolo. Internamente los “dientes” aparecen en las axilas de las últimas hojas formadas, las más jóvenes, y por el solo hecho de que en ellas se originan los propágulos se las denominan fértiles. Vale remarcar que, en ningún caso, estas convenciones respecto a la diferenciación de hojas fértiles o estériles hacen referencia a condiciones sexuales, sino al hecho de formar o no estructuras de multiplicación vegetativa (figura 9) (Burba y Portela, 2022).

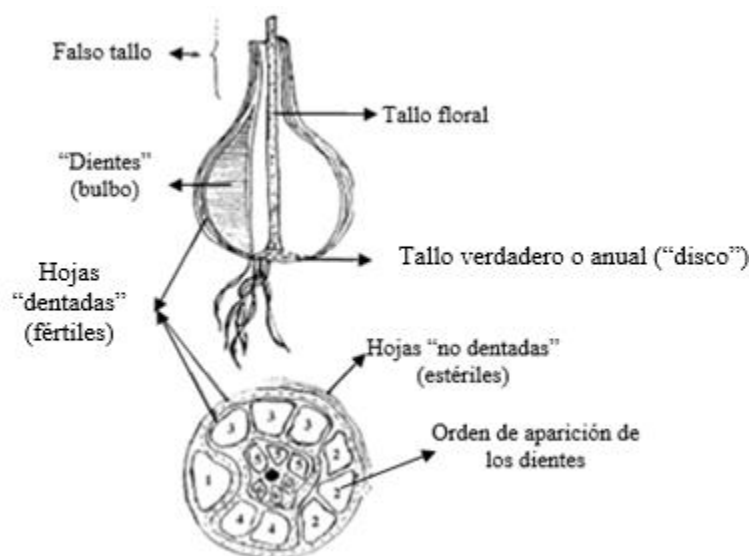


**Figura 9.** Hojas del cultivo de ajo. Fuente: Renobales y Sallés, 2001

### 2.6.6. Bulbo

El bulbo está compuesto de varios bulbillos o dientes unidos en su base que se forman en las axilas de las hojas en número de seis o siete en adelante, por lo que se les considera hojas transformadas que sirven para almacenar reservas de la planta; los bulbillos son envueltos de manera individual por túnicas interiores, mientras que el bulbo completo es envuelto por túnicas exteriores transparentes membranosas de coloraciones que van del blanco al rojizo o púrpura y que se forman en el interior de las hojas envainadas ( Reveles *et al.* 2009).

Las hojas envolventes del bulbo son generalmente blancas cuando están secas, o poseen vetas con tintes violáceos. Tanto estos pigmentos como los de los “dientes” son responsables de la denominación de los colores de los tipos comerciales. Como ya se comentó, el bulbo de ajo es del tipo compuesto, a diferencia del de la cebolla que es un bulbo simple, el cual está conformado por varios “dientes” o bulbos simples, cuyo número, tamaño, forma y color dependen del cultivar al que pertenezcan y del ambiente de cultivo al que la planta fue expuesta (figura 10) (Burba y Portela, 2022).



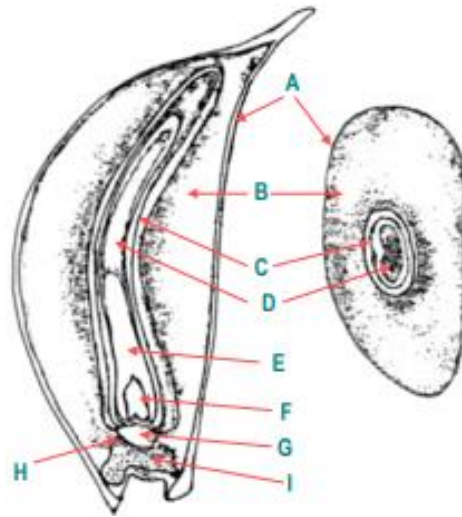
**Figura 10.** Corte transversal y longitudinal de un bulbo maduro de ajo. Fuente: Burba, 2003.

### 2.6.7. Bulbillos o dientes

Los dientes son el principal órgano de propagación de esta especie; son en realidad yemas vegetativas axilares en estado de dormancia cuando el ajo está recién cosechado y se apoyan sobre el tallo verdadero o disco y cada diente está compuesto por una serie de hojas modificadas (Pinzón, 2007). Cada “diente”, estructura de hojas profundamente modificadas, es un bulbo en potencia y está formado desde afuera hacia adentro por:

- **Hoja de protección:** es una vaina coriácea, sin lámina, envolvente y lignificada, que por lo general está coloreada.
- **Hoja de reserva:** está especializada en almacenar los fotoasimilados y otros compuestos que serán utilizados para reiniciar el nuevo período de crecimiento con la brotación; en conjunto, las hojas de reserva de un bulbo representan más del 85 % del peso de este
- **Hoja de brotación:** es también una vaina dura, sin lámina, tubular, que tiene como función abrirse camino por el perfil de suelo hasta la superficie para proteger así al brote durante la emergencia; su crecimiento se inhibe al percibir la luminosidad exterior, y a partir de ese momento se abre en su extremo distal dejando pasar a las hojas verdaderas del brote.
- **Hojas verdaderas:** son aquellas que, cuando emerjan, poseerán vaina, lígula y lámina y tendrán principal función fotosintetizante durante el establecimiento de la nueva planta; no son remanentes del período de crecimiento anterior, sino que se forman durante la etapa de dormición

Todas estas hojas están insertas sobre su propio disco, del cual emergerán raíces adventicias, cilíndricas, en “cabellera”, de arquitectura relativamente superficial, como muestra la Figura 11 (Burba y Portela, 2022).



**Figura 11.** Cortes longitudinal y transversal de un bulbillito de ajo mostrando A: hoja membranosa que envuelve al bulbillito; B: hoja de reservas nutritivas; C: hoja de brotación; D: primera hoja completa; E: segunda hoja completa; F: tercera hoja completa; G: disco de la futura planta; H inicio de formación de raíces; I zona de separación del bulbo madre. Fuente: Burba, 2003.

### 2.6.8. Inflorescencia

Las flores, poco numerosas, dispuestas en umbela están compuestas por seis pétalos (rosados en muchos casos), seis estambres y un ovario coronado por un estilo filiforme y estigma; los órganos sexuales se proyectan fuera del perianto. El pedicelo es largo. La umbela está recubierta por una espata compuesta por brácteas, que puede alcanzar entre los 7 y 10 cm de largo.

Las flores raramente son fértiles, es una umbela se mezclan con bulbillitos florales cuya morfología recuerda a los dientes del bulbo. El fruto, cuando se forma, es una cápsula con 1 o 2 semillas por lóculo en número de tres (García, 1998).

Reveles *et. al* (2009) menciona que, la planta de ajo puede producir un tallo o escapo floral en cuya parte superior aparece la inflorescencia en forma de umbela esferoidal cubierta por una bráctea grande, membranosa y caduca. La umbela está

constituida por flores pequeñas con seis sépalos y pétalos de color blanco o rosado, así como seis estambres y un pistilo que al madurar dan origen a un fruto con tres cavidades, cada una con dos semillas, que rara vez se producen (figura 12 y 13).



**Figura 12.** Escapo floral e inflorescencia de una planta de ajo. Fuente: Reveles et al. 2009.



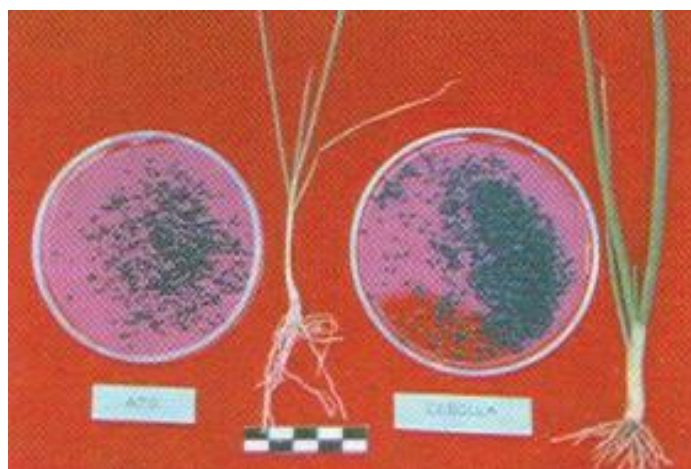
**Figura 13.** Inflorescencia de ajo con presencia de bulbillos aéreos. Fuente: Burba y Portela, 2022.

### 2.6.9. Semilla verdadera

Generalmente *A. sativum* se produce únicamente en forma vegetativa, por la subdivisión de los bulbos en bulbillos o dientes. Cuando emiten tallo floral, sus flores son completamente estériles, es decir, no producen semillas verdaderas.

Los ajos fértiles no producen semilla si no se manipulan las flores, por lo que para llegar a la obtención de semillas de estos clones es necesario estudiar la forma de inducirlas. Una vez realizada la fecundación de forma manual. Como resultado, se obtienen pocas semillas por inflorescencia y de características similares a las de la cebolla, es decir, de color negro y aristadas, pero muy inferiores en tamaño. De hecho, un gramo contiene alrededor de 600 semillas, en comparación a las 300 que se producen en cebolla (figura 14).

La germinación de las semillas verdaderas de ajo es relativamente baja, ya que no alcanza el 50%. Para lograrlo, se requiere incubar las semillas en un medio nutritivo, el mismo utilizado para el cultivo in vitro. Una vez germinadas, el crecimiento y desarrollo de las plantas es muy lento, alcanzando un menor tamaño, casi la mitad de lo que se observa en una planta de cebolla (Escaff *et al.* 2001).



**Figura 14.** Semilla verdadera de ajo y cebolla y una comparación de plántulas al mismo estado de desarrollo. Fuente: Escaff *et al.* 2001.

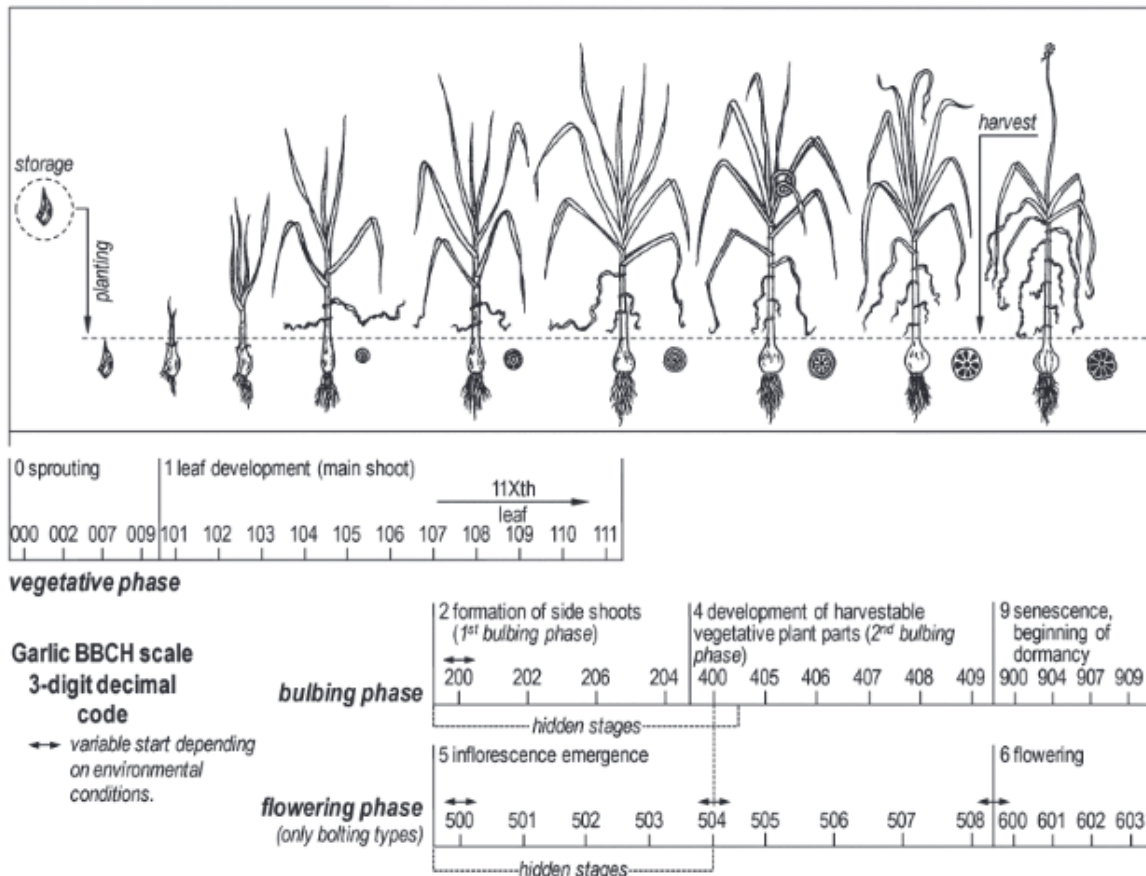
## 2.7. Fisiología

El conocimiento de la fenología de los cultivos constituye una herramienta fundamental en el desarrollo de las estrategias agronómicas, ciencias y campos afines. Este conocimiento proporciona beneficios sustanciales durante la gestión de los sistemas agrícolas, permitiendo la selección adecuada y el momento óptimo de determinadas prácticas, como la fertilización o el uso de pesticidas para controlar plagas, enfermedades y malezas. Desde 1992 el Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie (BBCH), ha realizado un enorme esfuerzo para estandarizar, describir y recopilar las fases del crecimiento fenológico de varios cultivos y especies de malezas.

El principio básico de la escala BBCH, descrito por Hark et. al, consiste en un código decimal que divide el crecimiento en etapas principales (primer dígito) y secundaria (segundo dígito). Actualmente, estas escalas generalizadas se han utilizado con éxito en todo el mundo y han formado un instrumento esencial para muchas actividades relacionadas al sector agrícola, permitiendo así el intercambio de datos e información objetiva a nivel global.

El estado fenológico actual para el ajo propuesto por la BBCH es el integrado en la cebolla. Aunque el ajo pertenece al mismo género que la cebolla existen importantes diferencias que hacen que esta escala sea irrelevante para el ajo. Se requiere una escala más específica para lograr mayor estandarización en la evaluación de estados de desarrollo de este cultivo. La morfología y fisiología del ajo es más compleja que las de las otras especies mencionadas, lo que se debe fundamentalmente a su particular medio de propagación, bulbificación y floración, ya que los últimos ocurren simultáneamente. Por estos motivos, el ajo debe contar con una escala fenológica específica y detallada para su estudio y aplicación de prácticas de manejo de cultivos ya que la utilizada por la BBCH en cebolla no es la adecuada (Lopez *et al.* 2016).





**Figura 15.** Diagrama esquemático del crecimiento y desarrollo del ajo (tipo cuello duro) según la escala BBCH ampliada (código de tres dígitos) con superposición de las principales etapas de crecimiento. Fuente: López *et al.* 2016.

A continuación, se muestran las nuevas etapas de crecimiento fenológico del ajo presentadas por Lopez *et. al* (2016):

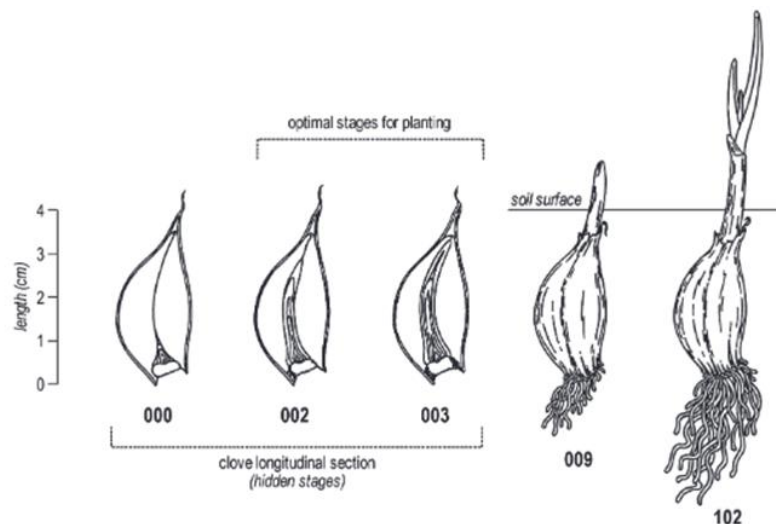
### 2.7.1. Etapa de crecimiento principal 0: Brotación

El ajo se propaga mediante dientes, comenzando la etapa de crecimiento principal 0 BBCH. Después de que el bulbo madura y se vuelve senescente, los dientes comienzan un periodo de latencia profunda y cesan el crecimiento de brotación y el crecimiento de hojas nuevas. Solo después de que este periodo haya finalizado por completo se pueden plantar dientes, porque el almacenamiento, la temperatura y el tiempo de exposición a las condiciones ambientales afectan

fuertemente el posterior desarrollo de planta, las condiciones de almacenamiento deben controlarse cuidadosamente.

La latencia del diente consta de muchas de las siguientes etapas: latencia verdadera, post-latencia y letargo completamente desaparecido; esta última etapa comienza con el crecimiento del brote y finaliza en emergencia de brotes. Debido a que el brote crece en el interior de la hoja de almacenamiento hacia su punto distal, es necesaria una disección longitudinal del diente para observación de esta etapa o periodo que se encuentra oculto a la vista. Varios autores han utilizado el índice visual de latencia (VID).

Dientes de un bulbo cosechado y maduro deben estar en etapa de verdadera latencia, presentando valores de VID del 20-30%; y el brote se encontrará en BBCH etapa 000. Los valores aproximados de más del 30% y hasta el 70% indican post-latencia (BBCH 001). En el momento en que el VID alcanza aproximadamente el 70% (BBCH 002), los dientes se encuentran en una etapa de desarrollo adecuada para plantación (BBCH 002). Un VID del 100% (BBCH 003) indica el alargamiento del brote a medida que emerge a través del poro del punto extremo distal de la hoja de almacenamiento. Inicialmente, durante las etapas secundarias finales de BBCH Stage 0 y el comienzo de la etapa 1 (no. 009-102), el desarrollo de la raíz es más rápido en el diente del lado convexo del disco sin embargo este comienza a equilibrarse después, y la planta adquiere el típico aspecto de un sistema radicular en fascículos con poca ramificación (figura 16).



**Figura 16.**Estadios de crecimiento principales 0 y 1: bulbos y dientes en plena maduración después de la cosecha (profundamente inactivo) VID <20%-30% (000); ruptura de dormancia VID  $\geq$ 70% (condiciones óptimas para la siembra) (002); la hoja del brote alcanzó la punta de paloma VID= 100%. (003). La hoja del brote atraviesa la superficie del suelo (009); y la segunda hoja (lámina) plegada muy visible (>3 cm) (102). Fuente: López *et al.* 2016.

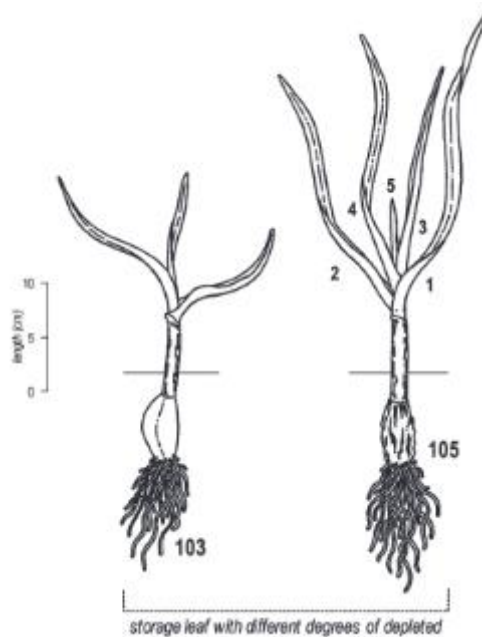
### **2.7.2. Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hojas (brote principal)**

Una vez que la hoja sin lamina aparece en la superficie del suelo, la lámina sale producido por el meristemo apical y comienza a emerger continuamente, situados en el disco o tallo verdadero. Esto consta de dos partes: la porción inferior de la hoja que forma la vaina y la sección superior o lamina con funciones fotosintéticas y una sección transversal que forma una V y se une con la lígula. Las hojas son opuestas y alternas, formando un grupo de vainas concéntricas sobre un falso tallo. La emisión de hojas continua sin el distanciamiento entre los nudos, cuando se interrumpe lleva a la formación de yemas/ brotes laterales (en las axilas de las hojas finales).

En condiciones normales de cultivo, el número final de hojas varia de 10 a 12, sin embargo, este número puede aumentar o disminuir en cultivares no adecuados, a condiciones ambientales o debido a prácticas de cultivo inadecuadas, incluida la fecha de siembra.

Aunque la escala BBCH solo permite contar el número total de hojas visible, en los estudios se pueden agrupar las plantas según su desarrollo, las siguientes etapas pueden identificarse: hojas adultas senescentes o secas, expandidas y desplegadas (lígula visible), hojas jóvenes visibles (lígula aun oculta en el pseudotallo y plegada), y hojas/primordios foliares ocultos en el pseudotallo. Otras

hojas aparecen en sucesión y, a medida que las hojas más viejas/externas comienzan a desarrollarse, la hoja de almacenamiento se consume hasta desaparecer por completo (figura 17).



**Figura 17.** Tercera hoja plegada claramente visible (103); y quinta hoja plegada claramente visible y primera hoja desplegada (105) con hoja de almacenamiento funcional todavía. Fuente: López *et al.* 2016.

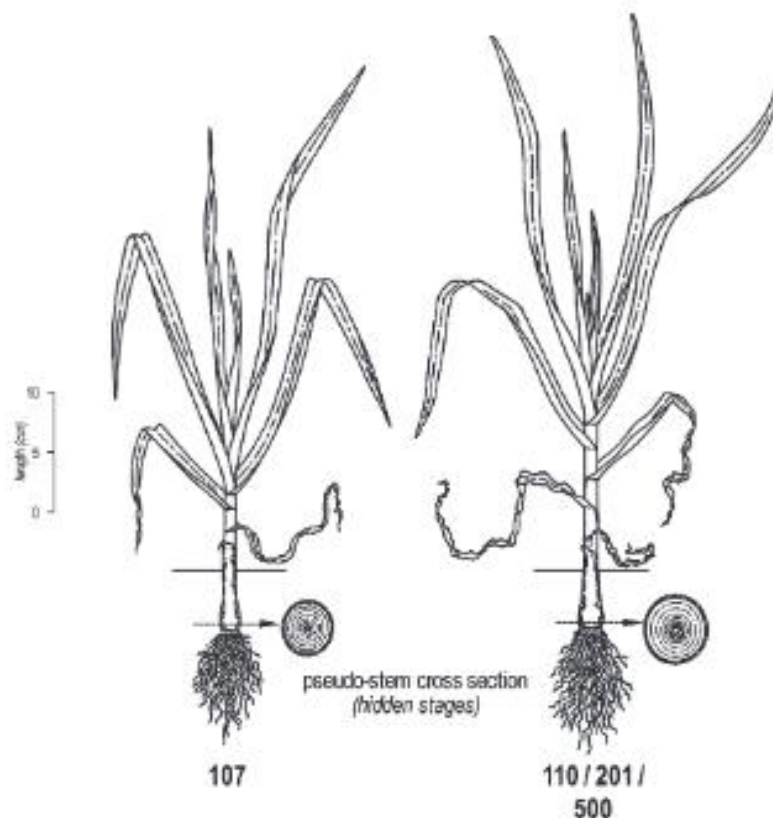
### **2.7.3. Etapa de crecimiento principal 2: formación de brotes laterales**

El bulbo del ajo se produce en dos fases bien diferenciadas la formación de yemas/brotes laterales (y tallo floral en los tipos de brotes) y posterior almacenamiento-diferenciación y desarrollo de las hojas, que forman los dientes. Después de acumular el número de horas de temperaturas inductoras la yema vegetativa o ápice es diferenciada, deteniendo la generación de nuevas hojas. Este brote puede dar origen al escapo/inflorescencia (en tipos de floración completo e incompleto) o formar una yema/diente terminal (tipos sin floración), causando la aparición de yemas laterales en las axilas de las hojas finales (ontogénesis del bulbo). El número de yemas formadas por hoja y el número de hojas con yemas

proporcionarán la estructura final del bulbo. Esto depende en gran medida del tipo de cultivo, aunque los factores ambientales también pueden alterarlo notablemente.

Las yemas laterales se forman en una secuencia centrípeta, que aparecen en las axilas de las 2-3 hojas finales (hojas fértiles) en cultivares de floración. Para los tipos que no florecen, las yemas laterales aparecen en las 5-6 hojas finales, creciendo hasta la mitad de las hojas y continúa disminuyendo hacia la parte central. Las yemas laterales se pueden diferenciar perfectamente con un microscopio binocular. Posteriormente, cada yema lateral emitirá varios primordios de hojas sin láminas que crecen encerrando la porción superior y encerrando hojas más jóvenes. A partir de este momento, pueden ser detectables ( $\geq 1$  mm) con una lupa de mano o a plena vista examinando la porción superior del disco una vez eliminadas las vainas o mediante una sección transversal del bulbo por encima del disco.

La etapa 200 BBCH coincidirá con el inicio de la morfogénesis del bulbo, dando lugar a la aparición de las primeras yemas laterales en las hojas fértiles, y el alargamiento del tallo o pedúnculo floral surgirá del meristemo apical vegetativo. El escenario 201 BBCH puede observarse después de una sección transversal, a la vista o con una lupa de mano (figura 18; No. 110/201; sección transversal). Posteriormente, para las etapas secundarias núm. 202, 203 y 204, cada yema lateral desarrolla varias hojas sin láminas en el interior de la primera, envolviéndose unas sobre otras. Si las condiciones son adecuadas, podrán desarrollarse un total de dos o tres de estas hojas. Las hojas sin láminas más externas se diferenciarán en pieles protectoras secas, y las más internas formarán la hoja de almacenamiento hinchada de las etapas 4 y 9 de BBCH.



**Figura 18.** Séptima hoja (lámina) plegada claramente visible, hojas viejas desplegadas y hoja de almacenamiento consumida (107); y la décima hoja plegada es claramente visible, la primera hoja sin láminas de cada yema lateral comienza a dosificarse (escapo)  $\leq 5$  mm de longitud desde el disco basal del tallo (110/201/500, respectivamente; etapas superpuestas). Fuente: López *et al.* 2016.

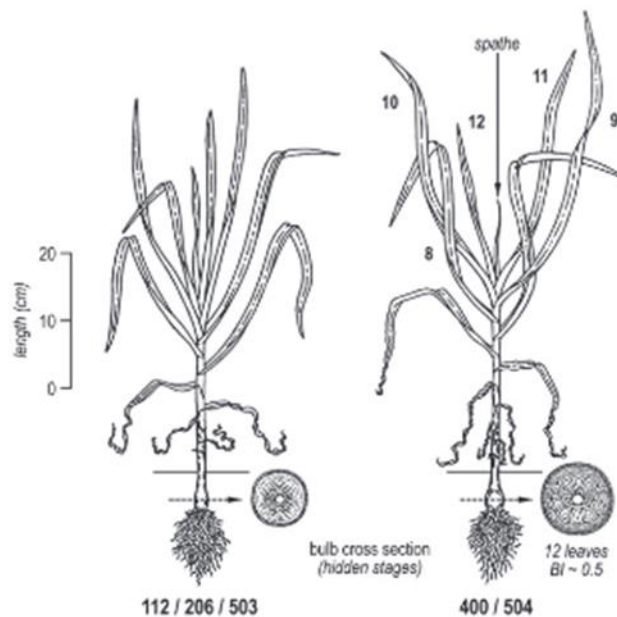
#### **2.7.4. Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta**

Esta etapa principal se corresponde con la segunda fase del bulbo del ajo: diferenciación y engrosamiento de la hoja de almacenamiento de cada yema lateral, dando como resultado la formación de los dientes. El factor ambiental que determina esta fase, es la existencia de jornadas largas (fotoperiodos), sin embargo, esto es variable dependiendo del cultivar y está influenciado por otros factores, que pospongan o aceleren, aunque no inhiban, este proceso. La característica externa

más evidente de esta etapa es el rápido crecimiento en el diámetro ecuatorial del bulbo, hasta alcanzar su tamaño final.

Durante esta fase, las hojas jóvenes visibles se expanden y comienzan a secarse, comenzando progresivamente con la más antigua y externa. Los valores más altos del índice de área foliar (LAI) se alcanzan al inicio de esta fase, y comienza el proceso de translocación, que implica el transporte de nutrientes sintetizados por las hojas hasta el bulbo. En el caso de los cultivares de floración, esto ocurre igualmente al inicio de esta etapa principal, cuando el escapo tiende a emerger entre el final de la hoja.

En la figura 19 la planta presenta todas sus hojas visibles con un engrosamiento creciente del bulbo, y yemas laterales en las axilas de las dos últimas hojas en la sección transversal ecuatorial de la planta cada una formada por dos hojas concéntricas e indiferenciadas y constituyendo una corona de yemas con un radio dos veces menor que el radio externo.



**Figura 19.** Doceaba hoja plegada claramente visible, longitud de la hoja sin lámina del brote lateral alcanza los 20 mm y el tallo floral alcanza el 75% de la longitud total del pseudotallo (112/206/503, respectivamente) todas las hojas visibles, la

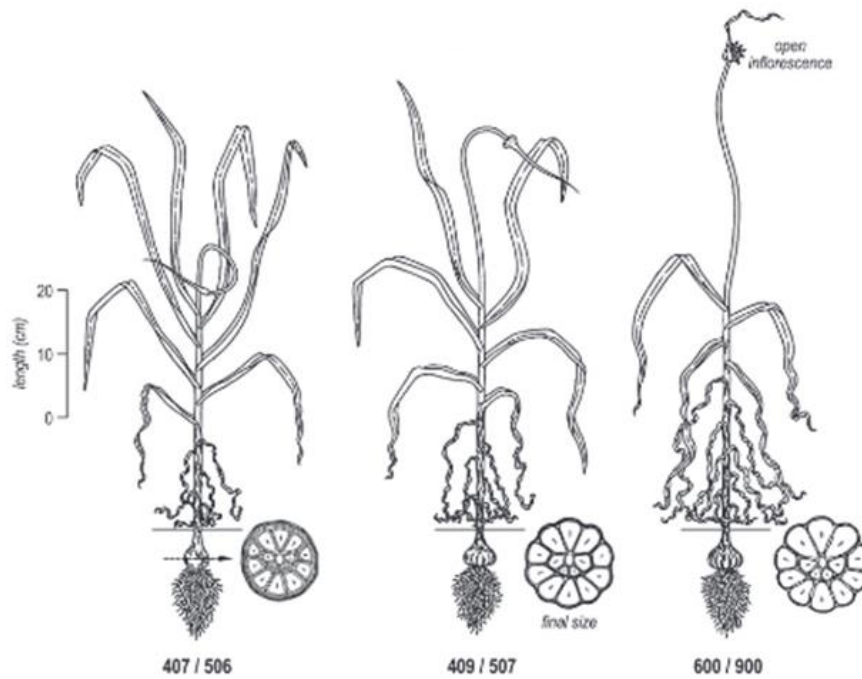
hoja más interna de cada yema lateral comienza a hincharse y la punta del tallo es claramente visible (>3 cm) (400/504, respectivamente). Fuente: López *et. al.* 2016.

#### **2.7.5. Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de la inflorescencia.**

En cultivares con un tallo o escapo floral en forma completa o incompleta (tipos de cuello duro), se espera que el desarrollo de la etapa de inflorescencia sea sincrónico con la etapa 2 de BBCH (primera fase de bulbo) y etapa 4 de BBCH (segunda fase de bulbo).

Aunque esta fase no coincide precisamente con el inicio de la segunda fase de bulbo (etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta), la aparición del escapo floral desde arriba el pseudotallo puede indicar un engrosamiento diferencial de la hoja de almacenamiento, con cultivares completos de tipo espigado y en condiciones normales de cultivo, se encontró que ambos procesos ocurren más o menos simultáneamente (Figura 19; BBCH no. 400/504). Tras el surgimiento de la espata, se sigue el patrón de desarrollo considerando la evolución de su forma más que de su longitud, que puede ser muy variable dentro de un mismo cultivar. El patrón de desarrollo es el siguiente: aparición de espata o bráctea (Figura 19, BBCH no.504); aparición del nódulo del tallo y la espata completamente visibles (BBCH no. 505), etapa en espiral o 'coleta' (Figura 20, BBCH no. 507), etapa de tallo torcido (Figura 20, BBCH no. 507) y etapa erecta con la espata aún cerrada, con el escapo alcanzando su máxima altura (BBCH núm. 508). Si el escapo se va a utilizar con fines culinarios, se recomienda cosecharlo con un simple tirón durante su etapa de 'coleta' (BBCH no. 506). Para la eliminación mecánica, esto se puede realizar varios días antes de la cosecha del ajo, cuando los escapos estén completamente erectos y por encima del dosel (no. 508 BBCH).





**Figura 20.** El 70% del diámetro esperado de los bulbos alcanzó la forma de un tallo como un 'pigtail' (407/506, respectivamente); El 100% del diámetro esperado de los bulbos alcanzó la planta aún erecta y varias hojas (3-5) verdes y el tallo con forma de 'cayado de alfil' (409/507, respectivamente); y la espata estalló con inflorescencia visible y las últimas 5-3 hojas comienzan a doblarse (600/900). Fuente: López *et al.* 2016.

### 2.7.6. Etapa de crecimiento principal 6: floración

Esta etapa principal es exclusiva de los tipos de floración completa, y las flores formadas durante el crecimiento del escapo que están cubiertas por la espata tienen la distinción de ser estériles en la mayoría de los cultivares en condiciones normales de cultivo; estas flores no forman frutos ni semillas. Durante la maduración, las flores son sustituidas por brácteas en forma de hojas y/o bulbillos superiores estos últimos pueden usarse como propágulos vegetativos, aunque esta práctica no es muy efectiva.

De manera similar a la etapa principal anterior, la floración comienza y coincide aproximadamente con las primeras etapas secundarias de la etapa de crecimiento principal 9 (senescencia, inicio de latencia) en condiciones normales de cultivo; Estas fases frecuentemente ocurren en paralelo, esto comienza con el estallido de la bráctea/espata que recubre la inflorescencia la cual es visible, aunque las florecillas individuales están cerradas (Figura 20; BBCH núm. 600). Posteriormente, los floretes se abren y muestran su estructura típica durante la etapa secundaria no. 601. Una vez secas las flores no fértiles, sus verticilos caen al suelo, y sólo quedan entre los bulbillos desarrollados los péndulos adheridos a la base de la umbela, que luego alcanzan su tamaño final (BBCH n° 602). Finalmente, las pieles que recubren cada bulbillo comienzan a secarse, dando como resultado su color característico (BBCH no. 603). El tamaño de la umbela y el número, forma, color y dimensiones de los bulbillos dependen en gran medida del genotipo.

#### **2.7.7. Etapa de crecimiento principal: senescencia, comienzo de la latencia.**

Una vez que el bulbo de ajo ha alcanzado su tamaño final, la planta comienza a secarse hasta morir. El bulbo madura y los dientes que lo forman entran en una etapa profunda de latencia. Este proceso de senescencia puede ocurrir incluso cuando el cultivo aún está plantado en el suelo; aunque, la maduración generalmente se logra después de la recolección de las plantas del suelo en condiciones al aire libre o en secaderos para su curado. Durante esta fase, se produce una retranslocación de nutrientes desde las porciones del dosel verde restante hacia el bulbo, excepto en la hoja de almacenamiento de cada diente.

La etapa principal de crecimiento comienza cuando 3-5 de las últimas hojas verdes emergentes han comenzado su senescencia y pierden su estatura erecta. Para cultivares de tipo espigado completo y en condiciones normales de cultivo, esta fase puede coincidir con el inicio y posterior desarrollo de la etapa de crecimiento principal 6 (floración). La etapa 900 es la primera que coincide con la etapa principal 6

(Figura 20; BBCH no. 600/900). Después, todas las hojas se secarán y el cuello o pseudotallo colapsará, cayendo en los tipos de cuello blando y permaneciendo erguido debido al tallo floral o escapo en los tipos de cuello duro (BBCH no. 901).

En este momento, los diferentes tejidos que componen el bulbo comienzan a secarse sucesivamente, a excepción de las hojas de almacenamiento de cada diente (BBCH n° 903-908). La duración de estas etapas secundarias dependerá fundamentalmente de la temperatura y aireación del bulbo. Esto suele suponer una pérdida del 10%-30% del peso inicial del bulbo, según variedad y fecha de recolección. Si bien este proceso podría evaluarse abordando el secado secuencial de los tejidos que componen el bulbo; esta secuencia comienza con el secado gradual de las vainas, que contienen agua, comenzando por las más externas y avanzando hacia las más interiores hasta que la consistencia y espesor cambia de una textura elástica a una textura coriácea y quebradiza. A esto le sigue el secado de las pieles protectoras o vainas protectoras de la hoja de conservación de cada diente, que adquiere entonces su espesor y color definitivos.

Finalmente, se seca el disco o vástago completo; En el caso de los tipos de cuello duro, el escapo también adquiere una consistencia quebradiza. Cuando todos los tejidos citados han adquirido una textura coriácea y quebradiza, se obtiene el color final característico de las vainas y pieles protectoras de los dientes según tipo de cultivar, y se consigue un peso estable y final, se considera que el bulbo ha llegado a la madurez. y se encuentra en una etapa de letargo profundo (BBCH no. 909).

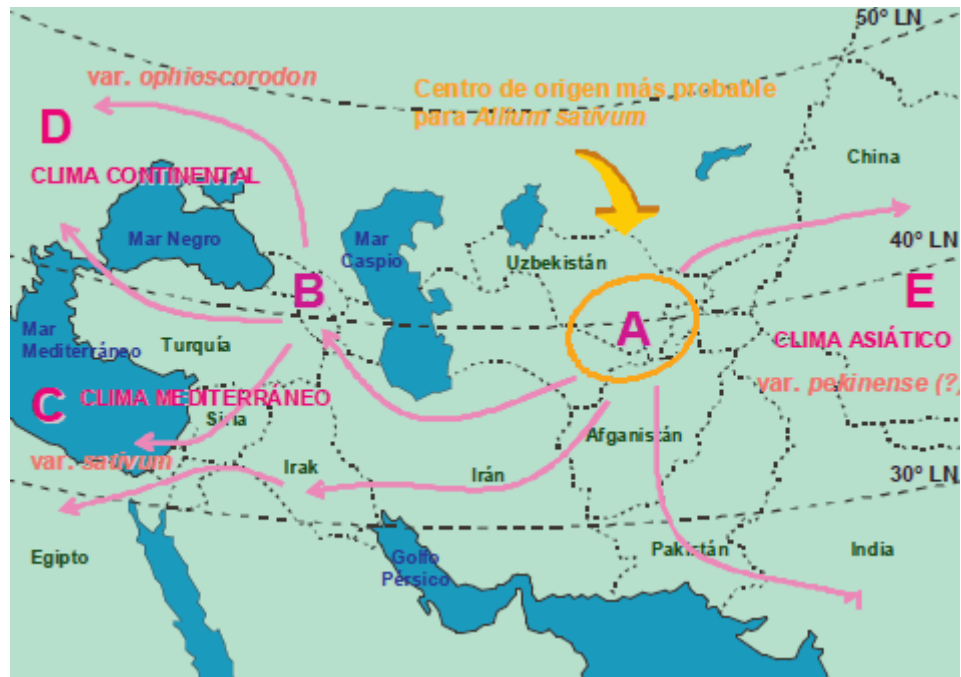
## 2.8. Variedades

En el mundo moderno se conocen ajos de todo tipo, sin embargo, la selección natural que la especie ha sufrido, las denominaciones populares en las diferentes culturas, los intentos de los investigadores por agruparlos y los planes de mejoramiento genético han complicado el panorama y su interpretación. Los ajos pueden ser agrupados por sus características botánicas, fisiológicas o comerciales. Los intentos por hacerlo no fueron muy exitosos, complicándose aún más la situación debido a las barreras idiomáticas.

En la práctica comercial los ajos se denominan en algunos casos según el color de los bulbos, o el color de los “dientes” o bulbillos. Este panorama es más complejo cuando de país en país las tonalidades reciben diferentes denominaciones (Burba, 2009).

La especie (*Allium sativum* L.), denominada ajo común, ajo doméstico o ajo de huerta, se le conocen principalmente tres subespecies (también botánicamente llamadas variedades), que son *pekinense*, *sativum* y *ophioscorodon*. El mapa de la Figura 15 muestra un esquema de las corrientes migratorias que trasladaron esta especie desde su posible centro principal de origen, dando lugar a los tipos mencionados.

Algunas de estas variedades estarían “especializadas” en producir bulbillos aéreos y otras en bulbillos subterráneos, aunque en realidad, según las condiciones ambientales del cultivo o las temperaturas del almacenamiento de la “semilla”, las variedades pueden producir los dos tipos de propágulos, tal es el caso de ajos “blancos”, que por lo general no emiten vara floral, pero sí lo hacen en regiones muy frías, y por consiguiente la denominación hardneck (de cuello duro o con vara floral), o softneck (de cuello blando o sin vara floral), es también relativa (Burba, 2008).



**Figura 21.** Corrientes migratorias que participaron en la distribución de (*Allium Sativum* L). Desde su centro de origen “A”; B, C, D y E son considerados centros secundarios. Fuente: Burba, 2008.

Los cultivares de ajo pueden agruparse según distintos criterios. Uno de ellos, de enorme valor agronómico porque explica las posibilidades de adaptación de un cultivar a un sitio en particular, es el agrupamiento por grupos ecofisiológicos (GE). Las categorías se establecen en función de la adaptación climática del cultivar, la que a su vez está fuertemente relacionada con otras características como el período de dormición, la época más propicia para el crecimiento vegetativo, o los requerimientos de frío y de fotoperiodo largo para bulbificar (Burba y Portela, 2009).

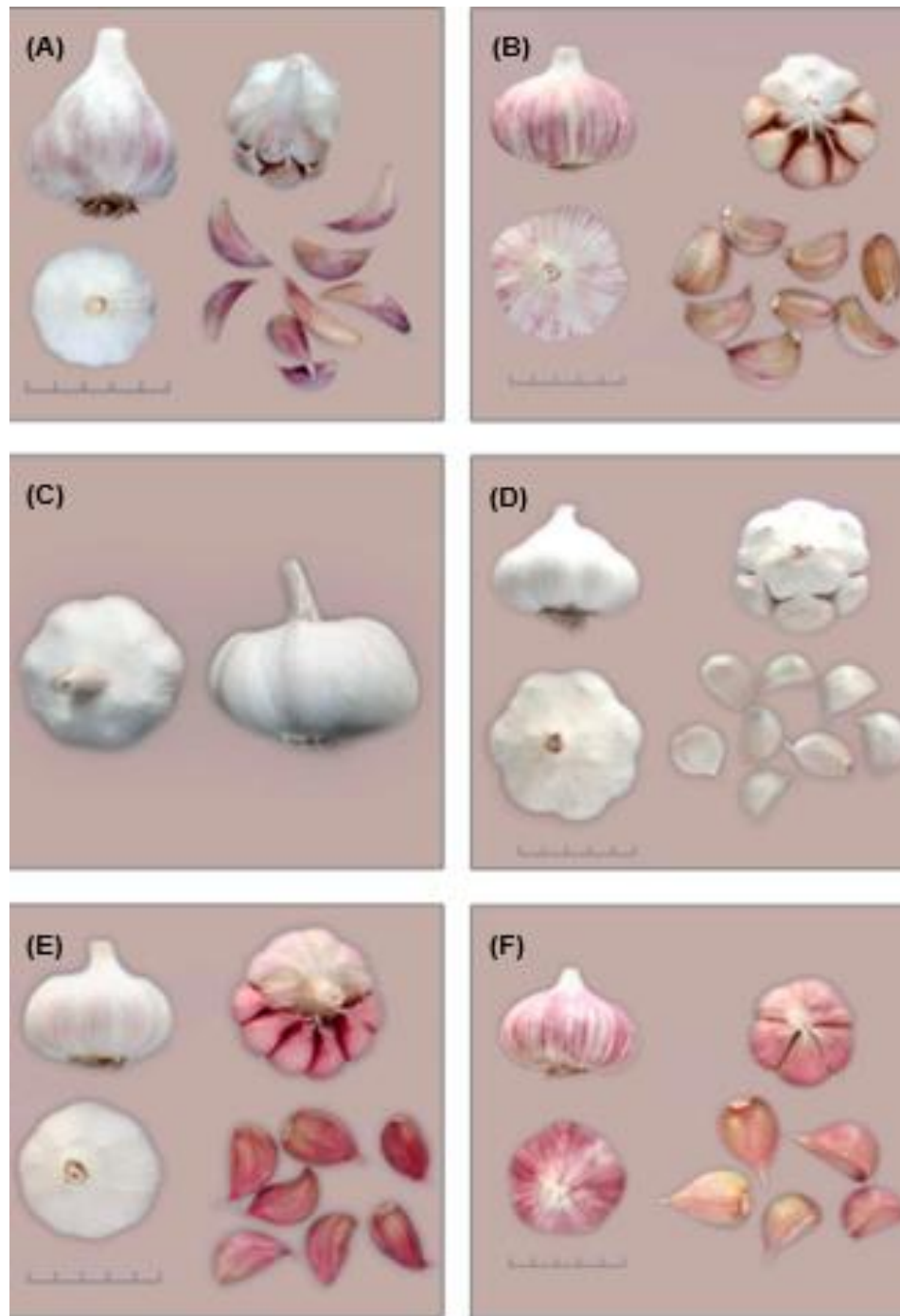
En el cuadro 2 se muestra la agrupación de los grupos ecofisiológicos para los diferentes cultivares de ajos.

**Cuadro 2.** Interpretación sintética del agrupamiento de ajos en grupos ecofisiológicos.

Adaptación climática	Grupo Ecofisiológico (GE)	Subgrupo Ecofisiológico (SGE)	Época de crecimiento vegetativo	Duración del cultivo	Duración de la dormición
Ambiente Tropical	GE I	..	estación seca	corta	muy corta
Ambiente Subtropical	GE II	..	otoño-invierno	intermedia	corta
Ambiente templado a templado frío	GE III	a: temprana	otoño-invierno	larga	intermedia
		b: tardía	otoño-fin de invierno		
		c: extra tardía	primavera-verano frío	muy larga por invierno	
	GE IV	a: extra temprana	principio de primavera	larga	larga
		b: temprana	primavera		
		c: tardía	primavera		

Fuente: Burba y Portela, 2022.

Otro criterio de agrupamiento de cultivares, además de los aspectos ecofisiológicos, es por perfiles de mercado a los que pueden orientarse. Se distinguen fundamentalmente en función del color externo de los bulbos o de los bulbillos, y en la contextura del “cuello” (dura o blanda, según la presencia o no de vara floral); todos ellos, atributos que se asocian a la preferencia de los consumidores por unos u otros ajos para consumo en fresco (Figura 22) (Burba y Portela, 2009).



**Figura 22.**Tipos de ajos comerciales más comunes: (A) rosados, (B) morados, (C) blancos tempraneros, (D) blancos tardíos, (E) colorados y (F) Castaños. Fuente: Burba y Portela, 2009.

Reveles *et al.* 2009 menciona que, en México las variedades comerciales de ajo han sido clasificadas en diferentes grupos, sin embargo, algunas veces la diferencia entre ellos no es muy clara. A continuación, se presenta una guía corta para definir diferentes grupos de variedades de ajos:

- **Grupo I (Violetas o asiáticas):** las variedades dentro de este grupo son típicas de regiones tropicales o sub tropicales. Estas plantas son generalmente semi erectas con hojas anchas de color verde claro. Presentan dormancia reducida y son de ciclo corto (155 – 165 días) con bajos requerimientos de frío y escasa necesidad de fotoperiodo largo. Los bulbos son medianos, con pocos dientes de gran tamaño (de 16.8 a 32.6 dientes por bulbo, de acuerdo con la variedad) y hojas envoltentes muy gruesas de color pardo violáceo o vinoso.
- **Grupo II (Rosados):** las plantas de este grupo son generalmente erectas con hojas de ancho intermedio y de color verde intenso. Presentan periodo de dormancia corto y ciclo medio, con moderada necesidad de fotoperiodo largo. Los bulbos son de medianos a grandes y producen un gran número de dientes irregulares de color rosado claro a violáceo.
- **Grupo III (Blancos):** las plantas de las variedades en este grupo son decumbentes en estado juvenil y semi erectas en estado adulto. Sus hojas son anchas y de color verde cenizo. Los clones de este grupo presentan dormancia media y ciclo medio – largo (hasta 190 días) con requerimientos de frío medianos a altos y fotoperiodo largo. Los bulbos son de grandes a muy grandes, generalmente irregulares, con hojas envoltentes de color blanco.



- **Grupo IV (Colorados, Rojos y Morados):** las plantas de este grupo son generalmente semi erectas en estado adulto, de desarrollo medio con hojas angostas a intermedias. Son clones de dormancia y ciclo largo con altos requerimientos de frío y fotoperiodo largo. Los bulbos son medianos a grandes, bien formados, de color externo blanco cuando seco, pero de dientes rojo púrpura con tintes violáceos o morados.

## **2.9. Fertilización**

Los suelos de manera natural contienen casi todos los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, aunque en cantidades insuficientes para obtener rendimientos satisfactorios, lo que hace necesario la adición de esos nutrientes a través de la aplicación de fertilizantes, para lograr cosechas en calidad y cantidad que hagan rentable el sistema de producción.

La respuesta del cultivo al uso de fertilizantes va a cambiar de acuerdo al tipo de suelo, al manejo del cultivo, a las condiciones de clima durante el ciclo del cultivo y a la variedad utilizada.

El manejo adecuado de la nutrición de las distintas cultivares de ajo, a través de la aplicación oportuna de fertilizantes, es una parte del proceso de producción que, en combinación con otros factores, promueve un aumento en rendimiento y calidad de las cosechas (Ipiński y Gaviola, 2006).

### **2.9.1. Nutrición balanceada**

Una nutrición balanceada adecuadamente es un factor fundamental en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Los nutrientes son la clave del éxito. Un abonado correcto asegura que el ajo reciba todos los nutrientes esenciales, como el nitrógeno para el crecimiento de las hojas, el fósforo para el desarrollo de las raíces y el potasio para la formación de los bulbos. Por lo tanto, la elección y aplicación adecuadas de abono pueden marcar una gran diferencia en la salud y

productividad del cultivo. Las cantidades aplicadas, los tiempos y las formas de aplicación de los fertilizantes, factores que resultan claves en la expresión del rendimiento potencial de los cultivos (Sembralia, 2023).

Para obtener rendimientos satisfactorios es pertinente balancear la fórmula o dosis de fertilización, tanto en macro-elementos como en micro-elementos, de igual manera, Reveles *et al.* (2009) menciona, las siguientes tres premisas fundamentales para optimizar la nutrición del cultivo:

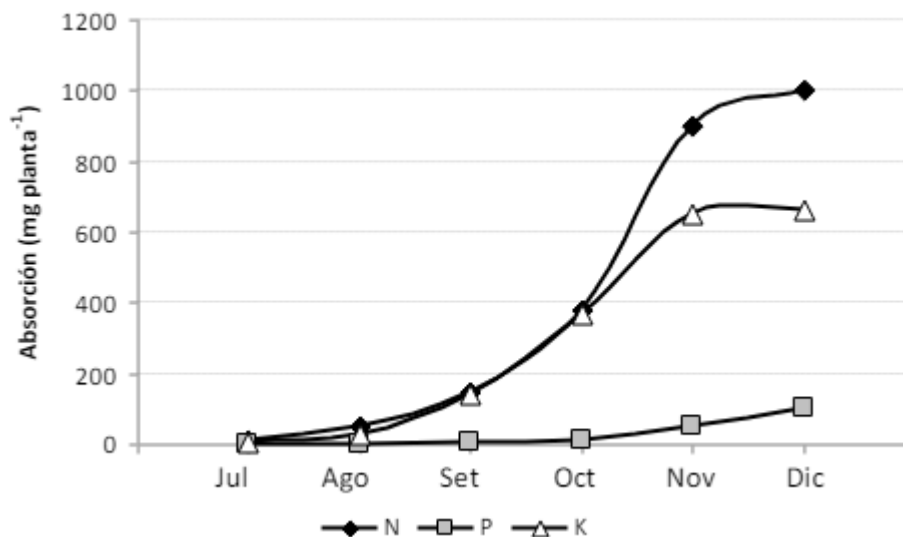
- El análisis del suelo, previo al establecimiento del cultivo.
- El conocimiento de la demanda nutrimental del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas.
- El monitoreo de la nutrición del cultivo por medio del análisis foliar, de extracto celular de pecíolo (savia) y de solución de suelo durante el ciclo de cultivo.

Con una estrategia de fertilización adecuada, se puede mejorar enormemente la calidad y rendimiento. Planificar y aplicar correctamente la dosis de fertilización puede asegurar que el cultivo sea próspero, produciendo bulbos grandes y saludables (Sembralia, 2023).

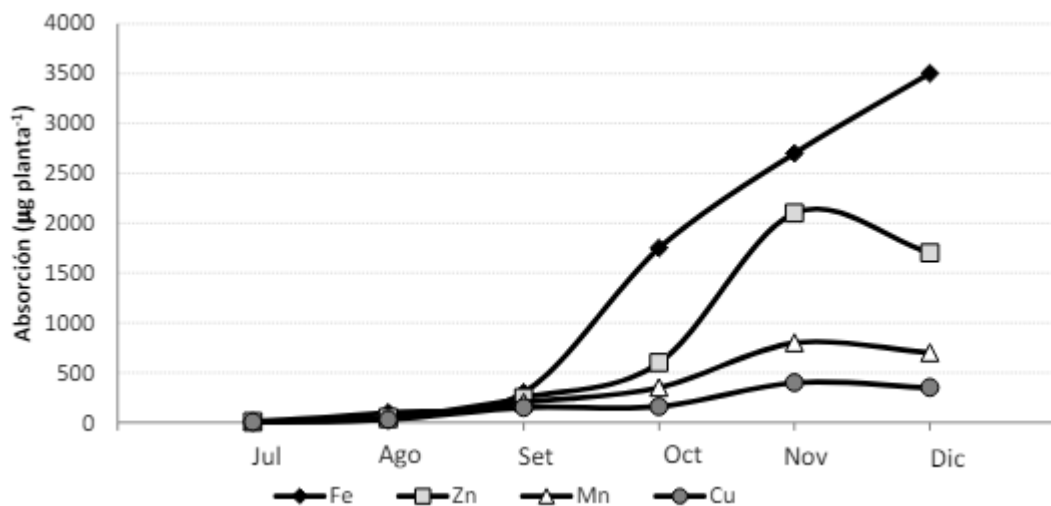
### **2.9.2. Curvas de absorción en el cultivo de ajo**

Para la elaboración de un plan de fertilización es importante conocer la relación entre las curvas de crecimiento y absorción de nutrientes en función de la edad del cultivo. El cultivo de ajo es esencialmente demandante de Nitrógeno en primer lugar y en Potasio en segundo lugar. Mucho más lejos está la demanda de Fósforo, Calcio, Magnesio y Azufre (Burba, 2009)

En las Figuras 23 y 24 se presentan curvas de absorción total de ajo (parte aérea más bulbo) de N, P y K (mg planta<sup>-1</sup>) y hierro (Fe), cinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu) (µg planta<sup>-1</sup>) a lo largo del ciclo (Lipinski, 2015).



**Figura 23.** Patrón de absorción total de N, P y K en ajo. Fuente: Lipinski, 2015.



**Figura 24.** Patrón de absorción total de Fe, Zn, Mn, Cu en el cultivo de ajo. Fuente: Lipinski, 2015.

### **2.9.3. Nitrógeno**

Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante. Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ión nitrato y a otras formas reducidas del N, en la reducción del potencial hídrico de la vacuola, dentro del proceso de osmoregulación. La función del N como agente osmótico, que permite retener al agua en las vacuolas, ha sido considerada tanto o más importante que su función nutrimental (Cárdenas *et al.* 2004).

Así mismo, Rodríguez y Flórez en 2004 mencionan que, una de las funciones más importantes del nitrógeno es la de tener una acción directa sobre el incremento de la masa seca porque favorece el desarrollo del tallo, el crecimiento del follaje y contribuye en la formación de frutos y granos.

### **2.9.4. Fósforo**

El fósforo (P) es un nutrimento esencial para el crecimiento vegetal y en la producción de alimentos, debido a que es un componente primario de los sistemas responsables del almacenamiento y transferencia de energía, es un compuesto básico en las estructuras de macromoléculas como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos vegetales, además, este elemento constituye cerca de 0.2% de la materia seca vegetal. Está involucrado en una serie de funciones metabólicas y estructurales, forma parte de moléculas energéticas las cuales pueden regular la actividad enzimática vegetal, asimismo, participa en la formación de bloques de ADN y membranas celulares (Morales *et al.* 2022).

### **2.9.5. Potasio**

El potasio es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Juega un papel fundamental en la regulación de la apertura y cierre de los estomas, los poros microscópicos que se encuentran en las hojas y que permiten el intercambio de gases, como el dióxido de carbono y el oxígeno. Las funciones del potasio en las plantas ayudan a regular la turgencia celular, lo que les permite mantener su forma y estructura. Este nutriente mineral es el más abundante en el citoplasma, y su importancia fisiológica radica en el papel que juega en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas (SMEAP, 2023).

### **2.9.6. Azufre**

El Azufre (S) está reconocido como el cuarto nutriente o elemento mayor de las plantas. Este elemento ejerce un efecto elemental en el crecimiento de las raíces de las plantas en zonas áridas y suelos alcalinos. El azufre está estrechamente ligado con la formación de componentes orgánicos en la planta durante la fotosíntesis, es esencial en la formación de aminoácidos y en la construcción de bloques de proteínas, es importante como constituyente de algunas enzimas por lo que su deficiencia en la nutrición de la planta trae como resultado una reducción general en la síntesis de proteínas.

Los compuestos de azufre orgánico volátiles son los responsables de dos características muy particulares como son el factor lacrimonal de las cebollas y el olor particular de los ajos. Se ha estimado que el cultivo de ajo requiere de 571 gramos de azufre por cada tonelada cosechada (Reveles *et al.* 2009).

### **2.9.7. Calcio**

El calcio interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y en la integridad de la célula, ya que es componente básico de la lámina media de la pared celular, en forma de pectatos de calcio. Estos pectatos le confieren consistencia y cierto grado de rigidez a la pared celular. Igualmente, preserva la estructura de las membranas celulares al regular su permeabilidad. La presencia de pectatos de calcio en las paredes celulares protege los tejidos contra el ataque de hongos. Por otra parte, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Rodríguez y Flórez, 2004).

### **2.9.8. Magnesio**

El magnesio tiene funciones importantes dentro de la planta: es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas. Entre estos sistemas se tiene la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón (Rodríguez y Flórez, 2004).

## **2.10. Principales enfermedades**

En realidad, las plantas generalmente no se enferman. Cuando se maneja mal el ambiente agronómico se facilitan las condiciones predisponentes para el ataque de los patógenos. En la mayor parte de los casos el hombre contribuye a distribuir inóculos con los rastrojos, o generar fitotoxicidad en las plantas por mal uso de los agroquímicos, o dañar raíces y partes aéreas con labranzas exageradas y a veces innecesarias. Después de poner la atención en evitar las malas prácticas de manejo, entonces sí consideremos las plagas y las enfermedades (Burba, 2022).

### **Podredumbre blanca (*Sclerotium cepivorum*)**

Es la enfermedad extendida y peligrosa más importante del ajo. Una vez que el hongo cuenta con condiciones ambientales favorables (alta humedad y temperatura suave) ataca a la planta del ajo en cualquier estadio fenológico del cultivo. Sin embargo, las fases más sensibles son: la brotación y la formación del bulbo.

Los síntomas son muy característicos, las hojas amarillean progresivamente desde el ápice hasta la inserción. Las hojas más viejas son las primeras en manifestar los síntomas, luego, avanzar hasta las más jóvenes progresivamente la planta decae y finalmente muere, siendo desarraigable con facilidad.

El hongo se manifiesta desde el principio en las raíces, por donde penetra y, de una forma más usual, en el bulbo incipiente. El micelio forma una masa característica esponjosa y de color blanco. Más tarde este micelio evoluciona hacia gris oscuro punteado en negro (esclerocios) (García, 1998).

### **Podredumbre verde (*Penicillium alli*)**

Produce el decaimiento de la semilla de ajo después de plantada. Los síntomas visibles son marchitamientos, clorosis y plantas con crecimiento pobre. El hongo puede penetrar dentro del tallo del diente y afectar el desarrollo y emisión de nuevas raíces. Las plantas infectadas crecen a un ritmo más lento y son muy débiles, por lo que pueden morir. La enfermedad también puede destruir a la semilla antes de brotar y a plántulas recién emergidas (Burba, 2022).

### **La roya (*Puccinia alli*)**

Los síntomas de la roya del ajo son muy llamativos, ya que las pústulas son de color pardo-anaranjado muy brillante si eliminamos la epidermis. Las esporas son

naranjas y brillantes. Una vez que avanza el ciclo de la enfermedad las pústulas irán a pardo oscuro y su dispersión se realiza por el viento (García, 1998).

Normalmente se distribuyen entre las nevaduras. Las hojas infectadas muy intensamente pueden transformarse en cloróticas, amarillentas y luego mueren. La enfermedad ocurre con mayor intensidad en condiciones de alta humedad relativa (HR) y baja frecuencia de lluvias (Burba, 2022).

### **Blanquilla (*Stemphylium vesicarium*)**

La blanquilla es una enfermedad fúngica que suele manifestarse al final del ciclo del cultivo, cuando la masa foliar comienza a marchitarse. Esta afección provoca un desecamiento prematuro y rápido de la planta, y en casos graves, puede llevar a la pérdida completa de la parcela de cultivo. La enfermedad se caracteriza por la aparición de manchas redondeadas y elípticas de color blanco en las hojas. Se ha observado que la blanquilla es más visible y común en el ajo morado. Condiciones favorables para el desarrollo de esta enfermedad incluyen temperaturas entre 16-25 °C, días de rocío o niebla y alta humedad relativa (Certis Belchim, 2023).

### **Pudrición por nematodos (*Ditylenchus dipsaci*)**

Este patógeno puede afectar la semilla, pero su ataque se observa con mayor frecuencia en las parcelas donde las plantas afectadas toman un aspecto amarillento y con poco vigor, el tallo se engrosa, el follaje se “acebolla”, en el bulbo se observa un abultamiento y las raíces se destruyen. Este nematodo puede vivir libre en el suelo, en tejidos secos de ajo o cebolla y en maleza y puede ser dispersado por medio de la semilla y/o materia seca contaminada, a través del agua de riego o lluvia o en el suelo y/o restos de plantas que se pegan a la maquinaria agrícola usada en parcelas infestadas (Reveles *et al.* 2009).



### **Tristeza (*Mycoplasma*)**

Generalmente las plantas no llegan a bulbificar o lo hacen de manera muy irregular y en todos los casos mueren antes de llegar a cosecha. Las hojas presentan un marchitamiento y luego se secan. En ajo blanco, las plantas afectadas desarrollan un tono violáceo oscuro en el follaje. Por el contrario, ajos del grupo de los colorados, las plantas manifiestan un marchitamiento y las hojas se amarillean. Se presume que la transmisión se realiza a través de la semilla o de insectos picadores, como ciertas chicharritas (Burba, 2022).

### **Virosis**

El cultivo de ajo por su naturaleza de propagación agámica es portador de una gran cantidad de virus que no llegan a producir la muerte de las plantas, pero que en ataques muy severos pueden ocasionar pérdidas de producción importantes. Potyvirus (transmitidos por áfidos) y Alexivirus (transmitidos por eriófidos) son los más importantes por su presencia y daños. En términos generales, la sintomatología de las virosis en ajo se manifiesta con mosaicos y decoloraciones en el follaje (Burba, 2022).

## **2.11.Principales plagas**

### **Trips (*Frankliniella occidentalis*)**

Tanto adultos como larvas se encuentran apoyados sobre la lígula de las hojas, protegidos por las láminas más o menos cerradas, y desde allí se desplazan. Los síntomas de su presencia son cambios de color de las hojas, que se tornan con un aspecto plateado como consecuencia de las cámaras subepidérmicas de aire dejadas cuando el insecto rae. Esta plaga solo compromete la producción cuando el ataque es muy temprano, por lo que generalmente se efectúa un único control al

inicio del cultivo, siempre y cuando el número de insectos alcance el umbral de daño económico que es de 30 individuos por planta (Burba, 2022).

### **Ácaro del ajo (*Acarus tulipae*)**

Es una plaga que encuentra su hábitat en la pulpa de los dientes de ajo, donde se reproduce y causa considerables daños, llegando incluso a hacer que el diente quede inservible. Su presencia es fácilmente perceptible, ya que se pueden observar manchas amarillentas que en realidad indican zonas necrosadas debido a la oxidación del tejido afectado. Estas manchas suelen ubicarse alrededor del nervio central de las hojas. Al final del ciclo, esta plaga desciende al bulbo y, durante el almacenaje, se desarrolla entre las capas de piel y la pulpa del diente, lo que conlleva a la deshidratación y pérdida de peso. Esta problemática es visible incluso a simple vista o con la ayuda de una lente de aumento. (Certis Belchim, 2023).

### **Mosca del ajo (*Suillia univittata*)**

Las larvas son de color blanco y de 8mm de longitud, mientras que los adultos son negros con el abdomen gris. Los ataques, en estado larvario, se localizan sobre las hojas jóvenes y progresan hacia el interior del bulbo. Para pupar, sin embargo, abandona la planta y se instala en el suelo. La sintomatología externa es muy característica por un arrollamiento de las hojas jóvenes minadas por las galerías de las larvas (García, 1998).

### **Eriófido de los bulbos (*Aceria tulipae*)**

Es una típica plaga de almacenamiento, dañando los bulbos por deshidratación y momificación de la hoja de reserva particularmente en aquellos cultivares hipersensibles. En el cultivo es responsable de enrolamientos y cambio de color en las hojas con disminución del crecimiento de la planta. En almacenamiento

en la hoja de reserva pierde brillo y se pueden localizar colonias del micro ácaro de color marrón claro. El umbral de daños en cultivos para semilla es de 50 individuos por kilogramo de bulbo de ajo, mientras que para cultivos destinados al consumo es de 100 individuos por kilogramo de bulbo de ajo (Burba, 2022).

### **Gusano rojo del ajo (*Dyspessa ulula*)**

Esta plaga se encuentra localizada principalmente en los almacenes y locales de manipulación. El adulto parece una polilla de envergadura entre 1.1 – 1.5 cm para los machos y 2.5 – 3cm para las hembras. Las alas son de color pardo o gris-pardo. Las larvas son grandes y peludas, más de 3 cm, de color rojo o pardo-rojizo con cabeza parda.

El insecto se localiza muy cerca del bulbo cerca del cuello. Las larvas se introducen en los dientes y los devoran por completo, destrozando el bulbo. Resulta un insecto muy peligroso con biología prácticamente desconocida, sobre el existe una rigurosa cuarentena para la exportación de ajos (García, 1998)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del sitio experimental**

El experimento de investigación se estableció durante el periodo noviembre - abril, 2023 en el Campo Experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25°21'23" N, longitud 101°02'08" W y a una altitud de 1,759 msnm (Google Earth, 2024).

##### **3.1.1. Climatología**

El municipio de Saltillo presenta climas de tipo Secos y Templados. El municipio se puede dividir en tres grandes áreas en lo que respecta a las condiciones climáticas: las porciones norte, centro y sur. Esta división obedece a las condiciones topográficas originadas por la presencia de la Sierra Madre Oriental en el centro del municipio, dando origen a climas de tipo templado en la zona centro, por las elevaciones de la sierra. Al norte del municipio se encuentra climas del tipo seco. Al sur también predominan los climas Secos, siendo los más frecuentes los de tipo BS1kx', BSokx' y BSohx' (Semiseco templado con lluvias escasas todo el año; Seco templado con lluvias escasas todo el año; y Seco semicalido, con lluvias de verano respectivamente). (Atlas de riesgos , 2014)

La precipitación anual promedio en el mismo periodo es de 484.4 mm, siendo julio el mes más lluvioso y los meses de febrero, marzo y diciembre los más secos.

La temperatura promedio anual es de 18 a 22°C (INEGI, 2024)

### 3.1.2. Suelo

Los suelos dominantes en el municipio de Saltillo son los Xerosoles, ocupando poco más del 42% de la superficie municipal; le siguen los Litosoles con el 35% del área. Los demás tipos de suelos, ocupan superficies comparativamente pequeñas, menores a las 40,000 Ha (Atlas de riesgos, 2014).

### 3.2. Instalacion del experimento

Para la instalación del experimento se preparó el terreno eliminando las malezas, se descompactó y se niveló el suelo, se realizó con un azadón y pala, esto para tener una mayor aireación y retención de humedad. Se trabajó con 4 camas con un ancho de 1.2 m por 11 m de largo y una altura de 25 cm. Cada cama estaba dividida por una calle de 60 cm.

El riego se realizó por medio de un sistema de riego por goteo, el cual constó de 3 cintillas por cama (una cintilla para dos hileras de siembra) con emisores a cada 20 cm, con un gasto de 1.14 L/H. Los riegos fueron realizados por semana considerando la necesidad hídrica del cultivo, la fertilización y las etapas fisiológicas principales.

### 3.3. Material vegetal

El material vegetal usado en el experimento constó de cuatro variedades de ajo provenientes del estado de Aguascalientes. Las variedades utilizadas fueron:

- **Variedad Perla:** el bulbo es de forma oval, de color blanco aperlado con una distribución regular presentando en promedio 14 dientes de color blanco cremoso. Sus hojas son de porte erecto y de color verde grisáceo con un número de 13 hojas al final del ciclo de vida de la planta. No emite tallo floral, correspondiendo a los tipos clasificados como softnecks o cuello blando.

- **Variedad Piedra Blanca:** esta variedad produce bulbos de gran tamaño pocos dientes, pero de mayor tamaño. Presenta catáfilas de color blanco. Sus hojas son de porte erecto en todo el ciclo vegetativo y parte del reproductivo con un color verde oscuro.
- **Variedad Tempranero Coronel:** variedad que se caracteriza por ser precoz y producir un gran número de bulbillos, pero de menor tamaño, su bulbo es de forma redonda aplanada y de coloración blanca
- **Variedad Jaspeado:** presenta un rendimiento superior, bulbos de consistente forma redonda, consistente menor número de dientes o bulbillos por bulbo y maduración homogénea. posee un falso tallo robusto que indica una planta con mucho vigor; la presencia de escapo floral es una característica de la variedad, los bulbos están cubiertos por catáfilas de color blanco, que presentan vetas verticales de coloración rosa violáceo (*Macías et al. 2010; Reveles et al. 2011*).

### 3.4. Tratamientos

En el experimento se evaluaron 4 variedades de ajo a las cuales se les aplicó una dosis de fertilización a meta de rendimiento para cada variedad, dividida en 4 fases fenológicas principales (radicular, vegetativa, división celular y llenado).

De acuerdo a la experiencia de agricultores del estado de Aguascalientes cada variedad puede llegar a un rendimiento máximo y de acuerdo a la fertilización tradicional que ellos aplican, los rendimientos obtenidos para cada variedad son los siguientes: perla es una variedad que ha mostrado un rendimiento máximo de 12 ton/ha<sup>-1</sup> mientras que la variedad piedra blanca muestra un rendimiento de 20 ton/ha<sup>-1</sup>, por su parte la variedad jaspeado ha tenido un máximo rendimiento de 16 ton/ha<sup>-1</sup> y la variedad temprano coronel muestra un rendimiento de 14 ton/ha<sup>-1</sup> (datos del agricultor).

Es por ello que en este trabajo de investigación se estableció una dosis de fertilización a meta de rendimiento para cada variedad, considerando sobrepasar el rendimiento máximo que han demostrado las variedades antes mencionadas. Las dosis de fertilización y meta de rendimiento de cada variedad fueron las siguientes: Variedad perla: 14 ton/ha<sup>-1</sup> (N 210, P 92, k 190, Ca 112, Mg 12), variedad piedra blanca: 22 ton/ha<sup>-1</sup>(N 308, P 145, k 300, Ca 176, Mg 33), variedad jaspeado: 18 ton/ha<sup>-1</sup> (N 252, P 119, k 245, Ca 144, Mg 27) y para la variedad coronel temprano: 16 ton/ha<sup>-1</sup> (N 240, P 106, k 218, Ca 128, Mg 24).

### **3.5. Diseño experimental**

El presente diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar, consto de 4 tratamientos con 3 repeticiones originando 12 unidades experimentales. Se optó por utilizar este diseño ya que los tratamientos y las repeticiones fueron distribuidos aleatoriamente, no se tenía un control en el clima debido a que el experimento fue realizado a campo abierto, sin embargo, se tuvo la misma topografía ya que el suelo es relativamente homogéneo en todas las repeticiones.

### **3.6. Análisis de varianza**

Los presentes datos obtenidos se les realizo una ANVA y una prueba de medias de Tukey con un nivel de confiabilidad del 95%. Dichos datos se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (Statistical Analysis Sistem) de la Nort Carolina State University.

### **3.7. Labores culturales**

- **Siembra:**

La siembra fue manual y se realizó el día 4 de noviembre de 2023, se utilizó semilla vegetativa (dientes) de 4 variedades de ajo conocidas como: variedad “Perla”,

variedad “Piedra blanca”, variedad “Jaspeado” y variedad “Tempranero coronel”, todas ellas provenientes del estado de Aguascalientes. Esta semilla fue tratada con una mezcla de nematicida (Ditera) marca Valent, con fungicida (folicur) marca Bayer CropScience y un coadyuvante (break thru) marca BASF. Este tratamiento de semilla fue realizado para la prevención de plagas y enfermedades.

Cada cama consto de 6 líneas de siembra de ajo, para realizar la siembra se tomó cada diente de tal forma que, la zona de separación del tallo del bulbo madre de cada diente estuviese en dirección al subsuelo y en seguida, con los dedos de la mano fue introducido al suelo a una profundidad de 3cm

- **Control de malezas:**

El control de malezas se realizó de manera manual. Se realizaron tres escardas (deshierbes) y al mismo tiempo se realizó un aporque al perímetro de cada cama con la finalidad de no descubrir el bulbo de las líneas de siembra de las orillas de la cama y evitar quemaduras por la radiación solar. El primer deshierbe y aporque se realizó el día 12 de diciembre del 2022, la segunda fue el 26 de enero del 2023 y la tercera fue el 30 marzo del 2023.

- **Control de Plagas**

Durante el desarrollo del experimento se presentaron problemas con trips (*Frankliniella occidentalis*). Esta plaga fue controlada con la aplicación de insecticida YUDDO DELTA MR 5 CE con una dosis de 1.5 ml/L de agua.

- **Enfermedades**

En cuanto a enfermedades se presentó roya (*Puccinia alli*), la enfermedad fue detectada a tiempo y solo se realizó una aplicación de prevención ya que el ataque de la enfermedad no superaba el umbral económico.se aplico el fungicida.



- **Fertilización**

La fertilización consto de una dosis de fertilización a meta de rendimiento para cada variedad, dosificada en las etapas fenológicas definidas y considerando su rendimiento presentado en el estado de Aguascalientes y el esperado en esta investigación. Las fuentes fertilizantes fueron las siguientes: Nitrato de potasio (N 12%, K 46%), Fosfato mono amónico (N%11, P 52%), Fosfonitrato (N 33%, P 03%), Nitrato de calcio (N 15.5%, Ca 26%) y Sulfato de magnesio (Mg 16.20 %, S 12.9 %).

- **Cosecha**

La cosecha se realizó en dos fechas diferentes ya que la variedad Tempranero coronel es de un ciclo precoz. El índice de cosecha para esta variedad fue el siguiente: marchitamiento foliar general, doblado del falso tallo y cuando el 20% de las plantas presentaron un postrado al suelo, una vez que el cultivo presento dichas características se realizó la cosecha el día 24 de abril del 2023. La segunda fecha de cosecha para las demás variedades fue el día 10 de mayo del 2023 para esta fecha el índice de cosecha fue el siguiente: marchitamiento general con aproximadamente 7 a 10 hojas jóvenes verdes y el resto de las hojas marchitas completamente.

A pesar de tener 4 variedades y dos fechas de cosecha diferente se realizó el mismo proceso para todas, el cual es el siguiente:

Una vez identificado el índice de cosecha con la ayuda de un talache y/o pico se procedió a des compactar el suelo, esto con la finalidad de facilitar el arranque de las plantas ya que todo el proceso de cosecha se realizó de forma manual. Después de sacar los bulbos del suelo se procedió a agruparlos de acuerdo a las repeticiones y tratamientos correspondientes, se agruparon en pabellones formados por manojos de plantas sobreponiendo el área foliar de un manojos sobre los bulbos del siguiente manojos, asegurando que estos no quedaran directamente expuestos a la radiación solar y para el inicio del pabellón los bulbos fueron cubiertos con tierra.

Posteriormente se continuo con los demás tratamientos. Este proceso de cosecha se realizó con base al proceso que los agricultores siguen ya que es una de las formas más rápidas y comunes para no tener pérdidas y mantener un bulbo de calidad, este proceso se lleva a cabo para eliminar las hojas y el pseudotallo ya que para su selección y empaquetado solo se trabaja con los bulbos. Una vez que las plantas presentaron su área foliar completamente seca se procedió a seleccionar los bulbos de cada tratamiento para su posterior evaluación. Cabe mencionar que para las variables altura de planta y diámetro de pseudotallo se realizaron antes de dicho proceso de acuerdo a sus fechas correspondientes ya que estas variables fueron evaluadas cuando su área foliar aun no presentaba marchitamiento.

### **3.1. Variables evaluadas**

Para obtener los datos de las variables evaluadas se utilizaron 30 plantas completas al azar por cada tratamiento, 10 por cada repetición, cabe mencionar que todas las variables fueron evaluadas en cada una de las plantas recolectadas y dichas evaluaciones fueron en cronología de acuerdo a la medición de la parte vegetativa correspondiente.

#### **3.1.1. Diámetro promedio ecuatorial del bulbo (Db)**

Para obtener esta variable se consideró que cada bulbo tiene una circunferencia ecuatorial irregular, por lo que, se decidió tomar dos diámetros en el mismo bulbo y obtener un promedio para tener un dato más confiable. Se utilizó un vernier manual de reloj marca CIENCEWARE, se midió dos veces el diámetro ecuatorial del bulbo de forma perpendicular.

#### **3.1.2. Peso medio de bulbo (Pb)**

Para determinar esta variable, a cada bulbo se le eliminaron sus raíces y sus hojas, haciendo un corte en el pseudotallo 5cm arriba de la terminación de los

dientes, dichos bulbos se pesaron en una báscula gramera electrónica marca RHINO, cada bulbo se colocó en el platillo de la báscula y se tomó el dato correspondiente.

### **3.1.3. Numero promedio de dientes por bulbo (NoD)**

Para obtener esta variable se separaron todos los dientes de cada bulbo y se eliminaron los dientes centrales más cercanos al escapo floral ya que esos bulbillos son demasiados pequeños y no tienen valor comercial individual, posteriormente se contabilizaron los demás dientes

### **3.1.4. Peso promedio de dientes (Pd)**

En esta variable se consideró que existe un diferente peso para todos los dientes del bulbo, por ello, se tomaron tres dientes al azar y se procedió a pesarlos de forma individual en una báscula gramera marca RHINO, con los datos obtenidos se calculó un promedio que represente el peso general de los dientes por bulbo, se registraron los datos y se continuo con los demás tratamientos.

### **3.1.5. Diámetro promedio de dientes (Dd)**

Para esta variable se tomó en cuenta que también existen diferentes diámetros para cada uno de los dientes por bulbo, ya que, presenta una figura irregular. Se tomaron dos diámetros ecuatoriales para cada diente cubriendo así los 4 lados que presenta el diente. Una vez registrados los datos se procedió a obtener un promedio. Las medidas fueron realizadas con un vernier manual de reloj marca CIENCEWARE.

### **3.1.6. Altura media de planta (Ap)**

Parta determinar esta variable se me midió el largo de la planta, desde la base del bulbo hasta las últimas hojas de tal forma que todas las hojas quedaran erectas

en la misma dirección de crecimiento que el falso tallo, posteriormente se registraron los datos.

### **3.1.7. Diámetro promedio del pseudotallo (Dps)**

Para obtener esta variable se consideró que el falso tallo tiene una circunferencia circular casi perfecta, por lo tanto, se procedió a tomar el diámetro ecuatorial del pseudotallo a una distancia aproximada de 5 cm arriba de la terminación de los dientes del bulbo, tratando que la medición fuera en la línea ecuatorial que divide el pseudotallo de la parte aérea y la subterránea, la medición se realizó con la ayuda de un vernier manual de reloj marca CIENCEWARE.

### **3.1.8. Rendimiento promedio de bulbo(Ren)**

Para determinar esta variable se necesitaron los datos de peso de bulbo, área sembrada por cada tratamiento, número de plantas sembradas por cada tratamiento y la medida de las calles entre cama y cama. Con dichos datos se calculó el rendimiento promedio de ajo traspelado con base a una hectárea, la cual es una forma de presentar los datos de una manera estándar

### **3.1.9. Peso seco promedio (Ps)**

En esta variable se necesitó de los bulbos de cada tratamiento, cada bulbo se colocó en una bolsa de papel de secado. Una vez empaquetados e identificados se llevaron a una estufa de secado marca YAMATO CIENCE modelo DX602, las muestras se dejaron a una temperatura de 70 ° C y se dejó hasta que la muestra no presentara variaciones y su peso fuera constante. Una vez secadas se procedió a pesar las muestras de cada tratamiento en una balanza analítica marcar Ohaus modelo Explorer Pro. Cabe mencionar que al pesar las muestras se utilizó un recipiente el cual se destaro para así obtener el peso seco individual de los bulbos para cada tratamiento.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Prueba de medias

De acuerdo a los datos obtenidos las variables de altura de planta y diámetro de pseudotallo presentaron diferencias significativas entre variedades (Cuadro 3). La variedad piedra blanca fue la que presentó la mayor altura de planta con un incremento promedio del 16.20 % respecto a las variedades perla y jaspeado, mientras que en comparación con la variedad temprano coronel presento un incremento promedio del 29.52 % (Cuadro 3).

En diámetro de pseudotallo las variedades jaspeado y piedra blanca fueron superiores al resto, mostrando un incremento promedio del 14.18 % respecto a la variedad perla, mientras que, en comparación con la variedad temprano coronel presentaron un incremento promedio del 42.63 % (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Comparación de prueba medias y su grado de significancia estadística entre las variedades de ajo para altura de planta y diámetro de tallo.

Variedades	Altura de planta (cm)	Diámetro de pseudotallo (mm)
Piedra blanca	75.86 a	10.94 a
Perla	63.55 b	9.56 b
Jaspeado	63.60 b	11.34 a
Tempranero coronel	53.46 c	6.39 c
ANVA $P \leq$	0.0001	0.0001
CV	2.13	4.9

ANVA = análisis de varianza con un 5% de probabilidad; CV = coeficiente de variación; medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales.

En las variables componentes de rendimiento: diámetro de bulbo, peso de bulbo, número de dientes por bulbo, peso de dientes, diámetro de dientes y peso seco, se encontraron diferencias significativas en las variedades de ajo (Cuadro 4).

Para la variable diámetro promedio de bulbo, la variedad piedra blanca fue superior con un incremento promedio del 13.04 % en comparación con las demás variedades, mientras que, la variedad temprano coronel fue la que presentó los diámetros de bulbo de menor tamaño (Cuadro 4).

En peso promedio de bulbo, la variedad piedra blanca fue la que presentó mayor peso, con un incremento promedio del 40.84 % respecto a las variedades jaspeado y perla, mientras que, esta misma variedad con respecto a la variedad temprano coronel mostro un incremento promedio del 58.27 % (Cuadro 4).

En la variable número promedio de dientes las variedades temprano coronel y jaspeado fueron superiores al resto, mostrando un incremento promedio del 49.58 % en comparación con las variedades perla y piedra blanca que fueron las de menor número promedio de dientes (Cuadro 4).

Para la variable peso promedio de dientes la variedad piedra blanca fue superior a las demás, con un incremento promedio del 36.74 % en comparación al resto, mientras que la variedad temprano coronel fue la que presentó menor peso de dientes (Cuadro 4).

Las variedades piedra blanca y perla fueron superiores en diámetro promedio de dientes, con un incremento promedio del 26.64 % en comparación con la variedad jaspeado, y en comparación con la variedad temprano coronel presento un incremento promedio del 83.97 % (Cuadro 4).

En la variable peso seco la variedad piedra blanca fue estadísticamente superior al resto, presentando un incremento promedio del 41.05% en comparación

con las variedades jaspeado, temprano coronel y perla las cuales fueron estadísticamente iguales, pero presentando el menor peso seco (Cuadro 4).

La variedad piedra blanca fue estadísticamente superior a las demás variedades en rendimiento, presentando un incremento promedio del 28.06 % en comparación con las variedades perla y jaspeado. Por otro lado, en comparación con la variedad temprano coronel mostro un incremento promedio del 46.85 % (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Comparación de prueba medias y su grado de significancia estadística entre las variedades de ajo para las variables componentes del rendimiento.

Variedades	Db (mm)	Pb (g)	Nod	Pd (g)	Dd (mm)	Ps (g)	Ren (Ton)
Piedra blanca	53.27 a	61.35 a	7.26 b	4.98 a	18.21 a	31.54 a	27,950 a
Perla	49.60 ab	33.62 b	7.3 b	4.07 ab	16.99 a	17.59 b	19,840 b
Jaspeado	47.14 cb	38.96 b	13.53 a	3.16 bc	12.91 b	19.90 b	20,374 b
Tempranero coronel	42.23 c	25.60 c	15.36 a	2.23 c	2.82 c	18.30 b	14,855 c
ANVA P ≤	0.0019	0.0001	0.0002	0.0042	0.0001	0.0001	0.0003
CV	3.87	6.44	9.83	15.21	8.4	5.32	7.37

Db= diámetro de bulbo, Pb= peso de bulbo, Nod= Numero de dientes, Pd= peso de dientes, Dd= diámetro de bulbo, Ps= peso seco de bulbo, Ren= rendimiento de bulbo, ANVA = análisis de varianza con un 5% de probabilidad; CV = coeficiente de variación; medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales

### **Altura media de planta**

De acuerdo a los resultados obtenidos la variedad piedra blanca registra mayor altura de planta, esto pudiera deberse a diferentes razones, como lo es el potencial genético de cada variedad lo que refleja mayor altura, similar a lo que reporta Lipinski y Gaviola (2006) mencionan que, el mayor número de hojas y altura de planta en cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno son determinadas por una característica genética de cada cultivar, y que además, estas variables inciden sobre el rendimiento favorecidas posteriormente por la fertilización.

A su vez, Lipinski, Gaviola (2006) y Filippinni (1995) presentan que, el tamaño de diente semilla incide sobre el comportamiento de la planta durante el crecimiento vegetativo, este efecto es proporcional entre la cantidad de sustancia de reserva (expresado como peso o tamaño de diente) y el crecimiento vegetativo (expresado como altura y número de hojas). Lo que explica porque la utilización de dientes semilla de gran tamaño refleja un crecimiento vegetativo mayor.

Así mismo, Soto (2018) y Lipinski *et al.* (1995) reportan que, una rápida y óptima germinación y emergencia de la semilla (dientes) influye en un rápido desarrollo foliar, lo que conlleva una mayor actividad fotosintética, esto se traduce a un mejor desarrollo de bulbo y dientes.

### **Diámetro medio de pseudotallo**

De acuerdo a los resultados se determina que las variedades jaspeado y piedra blanca registraron un mayor diámetro promedio de pseudotallo, esto puede deberse a el aporte de una dosis de fertilización a meta de rendimiento provocando un aumento en la producción y acumulación de reservas en las hojas, las cuales serán transportadas al bulbo durante su maduración a través del falso tallo. Cervantes (2022) menciona que, esta variable es un indicador para demostrar la eficiencia en la actividad metabólica de las plantas, por las sustancias de reservas acumuladas.

Sin embargo Ibáñez y Carrizo (2023) mencionan que, la aplicación del riego controlado influye en el diámetro del pseudotallo (crecimiento vegetativo) esto podría relacionarse con: a) la plasticidad fenotípica y la regulación de la conductancia



estomática en la disponibilidad limitada de agua, b) la recuperación de la actividad metabólica de las plantas durante el regreso del riego completo hasta cosecha y c) el menor intervalo entre riegos (diaria o cada dos días) durante todo el ciclo de cultivo.

A su vez, Lipinski y Gaviola (2006) mencionan que, en el supuesto de que todos los cultivares estuvieron sometidas al mismo ambiente, alguna de ellas mostrara una mayor estructura de planta debido a las potencialidades genéticas de cada cultivar favorecidas por la fertilización, de igual manera mencionan que, el diámetro de cuello resulta un índice que provee una buena estimación de las condiciones de bulbificación.

Así mismo, Rojas (2022) reporta que, el diámetro del Cuello Basal del pseudotallo en las diferentes variedades de ajo es resultado al genotipo y periodo vegetativo de cada variedad.

### **Diámetro y peso promedio de bulbo**

Los resultados muestran que la variedad piedra blanca presento un mayor diámetro y peso promedio de bulbo, esto puede deberse previo a un buen desarrollo aéreo y una vez que la planta entro en la etapa de bulbificación la variedad tiene la capacidad genética de trasladar, en su mayoría, los fotosintatos acumulados por las hojas a los bulbos, dando como resultado un buen peso y tamaño de bulbo, consecuencia de una buena adquisición de nutrientes y agua a causa de una fertilización adecuada. Similar a lo que reporta Huéz *et al.* (2010) presenta que, el aumento de una fertilización nitrogenada bajo riego por goteo puede aumentar el diámetro de bulbo en comparación con el tratamiento sin aplicación. Contrario a lo que reporta Pérez (2010) menciona que, en 12 compuestos de ajo tipo Taiwán no se encontraron diferencias estadísticas significativas para las variables peso y diámetro de bulbo, pero si encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta, rendimiento y numero de dientes por bulbo, lo que indica que la variabilidad genotípica influye en el potencial de rendimiento, por otro lado, menciona que existe una correlación positiva entre el rendimiento con el peso, diámetro y altura de bulbo.

A su vez Macías *et al.* (2010) menciona que, el peso de bulbo está directamente relacionado con el nivel de productividad de las variedades ya que las de mayor peso produjeron los mayores rendimientos.

### **Número promedio de dientes**

De acuerdo a los resultados obtenidos las variedades temprano coronel y jaspeado presentaron el mayor número de dientes, esta característica puede deberse por razones genéticas de cada variedad, similar a lo que reporta Macías *et al.*, (2009) menciona que el rendimiento y número de dientes por bulbo son influenciados por las condiciones ambientales presentadas durante el desarrollo de las plantas, por lo que es factible deducir la existencia de una interacción genotipo x ambiente que explica la influencia de los factores genotípicos propios y las condiciones ambientales en las variables rendimiento y número de dientes por bulbo.

Por su parte, Cárdenas *et al.* (2019) menciona que, la aplicación de fertilizante nitrogenado puede incrementar el rendimiento de bulbo al obtener plantas de mayor tamaño, mayor número de dientes por bulbo y en consecuencia mayor tamaño de bulbo.

### **Peso y diámetro promedio de dientes**

En la variable peso de diente, la variedad piedra blanca presentó el mayor peso mientras que en la variable diámetro de dientes las variedades piedra blanca y perla fueron superiores, mostrando los mayores diámetros de dientes por bulbo, esto pudiera deberse por una mayor acumulación de reservas en cada diente, aumentando un mayor diámetro de diente, esto influenciado por una fertilización, además, esa acumulación de reservas se pudo haber dado gracias a un buen sistema radicular, responsables de la absorción de nutrientes del suelo. De manera similar Diriba *et al.* (2015) menciona que, las interacciones de N y P, así como P y S, afectan significativamente el peso medio del diente, por lo que los nutrientes pueden haber mejorado el crecimiento vegetativo y translocación acelerada de fotosintatos en órganos de almacenamiento de los bulbos, aunado a que el desarrollo de raíces laterales y raicillas fibrosas, que son responsables de la absorción de nutrientes del

suelo pudo haber sido alentado por el fósforo como aumento de la disponibilidad de P con nutrientes tanto N como S.

### **Peso seco promedio de bulbos**

La variedad piedra blanca presento el mayor peso seco de bulbos, esto pudiera deberse a diferentes razones, como la acumulación de reservas en los bulbos, consecuencia de una translocación de fotoasimilados a los órganos de reserva de la planta. Otra razón puede ser, por el efecto de una dosis de fertilización la cual provoco un mayor crecimiento foliar generando mayor materia seca. Esto similar a lo que reporta Saluzzo (2003) presenta que, el rendimiento final de materia seca del bulbo es afectado por una fertilización nitrogenada.

Por su parte Cardenas *et al.* (2019) menciona que, el rendimiento en función del nitrógeno muestra cambios significativos en la variable materia seca de bulbo al encontrar que con un nivel más elevado de N produce más área verde generando mayor materia seca.

Por otro lado, Ferrante (2021) menciona que, el tamaño de diente semilla influye en el crecimiento y rendimiento de bulbo, consecuencia de una mayor cantidad de nutrientes almacenados en los dientes de gran tamaño que producen un crecimiento vegetativo vigorosos, una mayor producción de asimilados y una mayor translocación a los dientes que ayudan al desarrollo de dientes de mayor longitud y diámetro.

### **Rendimiento fresco promedio de bulbo**

De acuerdo a los resultados obtenidos la variedad piedra blanca mostro el mayor rendimiento promedio, este resultado pudiera deberse a diferentes factores como: genético, ambiental, nutrimental, etc. Al presentar la mayor altura y uno de los mayores diámetros promedio de falso tallo indica un mejor desarrollo vegetativo consecuencia de una buena absorción de nutrientes traducido a una mayor cantidad de fotoasimilados en las hojas transportados por el pseudotallo hacia los dientes, sumado a que esta variedad fue la que mostro los mayores valores en diámetro de bulbo, peso de bulbo, peso de dientes y diámetro de dientes. Para la variable número

de dientes estadísticamente fue una de las peores, lo cual es beneficioso en cuestión comercial, ya que se obtiene un menor número de dientes, pero de gran tamaño y peso lo cual es preferido por los consumidores. En peso seco mostro ser la variedad con una mayor cantidad de materia seca producida por bulbo resultado de una buena calidad genética y nutrimental. Estos resultados son similares a los que reporta Abraha *et al.* (2015) observo un mayor rendimiento de ajo en parcelas fertilizadas con fertilizantes a base de N, P, S y Zn debido a un efecto combinado de estos nutrientes, el nitrógeno ayuda a la síntesis de clorofila, enzimas y proteínas; por su parte, el fósforo es esencial para el crecimiento de raíz, fosfoproteínas y fosfolípidos.

Por su parte Iinpiski y Gaviola (2006) mencionan que, cada cultivar de ajo colorado tienen una capacidad de respuesta diferente a la fertirrigación nitrogenada; así mismo, mencionan que el mayor número de hojas y la altura de plantas obtenidas por cada cultivar, al inicio de la bulbificación, fueron las variables que incidieron más positivamente sobre el rendimiento. Por lo tanto, estas potencialidades genéticas se ven favorecidas por la fertilización nitrogenada determinando los rendimientos obtenidos a cosecha.

A su vez Cárdenas *et al.* (2019) indican que, con la aplicación de fertilizante nitrogenado puede incrementarse el rendimiento de bulbo al tener plantas de mayor tamaño, mayor número de dientes por bulbo y en consecuencia mayor tamaño de bulbo.

## **V. CONCLUSIONES**

La dosis de fertilización establecida de acuerdo a las metas de rendimiento fue superior en todas las variedades de ajo evaluadas.

La variedad piedra blanca presento el mayor crecimiento y rendimiento, en las variables: altura media de planta, diámetro promedio de pseudotallo, peso promedio de bulbo y peso seco promedio.

Se alcanzó y sobrepaso la meta de rendimiento propuesta para cada variedad de ajo, siendo la variedad piedra blanca la más sobresaliente.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abraha, G.A., Solomon H.M. y Yirga W. A. (2015). Effect of Inorganic and Organic Fertilizers on the Growth and Yield of Garlic Crop (*Allium sativum L.*) in Northern Ethiopia. Published by Canadian Center of Science and Education. Vol. (7): 7p.
- Burba, J. L, (2003). Producción de ajo. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. 43p.
- Burba, J. L, (2008). Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum L.*). Contribución para su entendimiento. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. Avances en Horticultura-Review. Horticultura argentina. 8p.
- Burba, J. L., (2009) Mejoramiento genético y producción de “semilla” de ajo (*Allium sativum L.*). Posibilidades a diferentes ambientes. Revista colombiana de ciencias horticolas. Vol. 3: 17p.
- Burba, J. L., (2022). Producción de ajo. Grupos ecofisiológicos y tipos comerciales de ajos argentinos INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1ra Edición. Buenos aires. Argentina. Pp 9-12.
- Burba, J. L., y Portela J. A. (2009) Producción de ajo. Anatomía y morfología de los órganos involucrados en el manejo de ajo. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1ra Edición. Buenos aires. Argentina. Pp 14-28.
- Cavagnaro P.F., y Burba, J. L. (2022). Factores genéticos y ambientales que influyen la pigmentación con antocianinas en ajo: una revisión. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Horticultura Argentina. Pp 103-123.
- Carvajal C.N.N.,(2018). Termoterapia y cultivo *in vitro* de ajo (*Allium sativum L.*) para la eliminación del virus del enanismo amarillo de la cebolla. Tesis de Maestría. UANL. General Escobedo, Nuevo Leon. 111p.

- Castillo T.A., (2022). Guía técnica del cultivo de ajo. Instituto de Educación Superior Tecnológico Público San Agustín". 20p. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/gua-tcnica-del-cultivo-de-ajo/236978842>
- Cárdenas N.R., Sanchez Y.J.M., Farías R.R., y Peña C. J.J., (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Revista Chapingo serie Horticultura. 10(2): 173-178.
- Cárdenas, V.B., Salvador E.E.J.A., y Rodríguez G.M.T., (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. Tierra latinoamericana, Chapingo. Vol.37 no. 3.
- Certis Belchim. (2023). Certis Belchim Growing Together. Obtenido de <https://certisbelchim.es/plagas-y-enfermedades-mas-comunes-del-ajo-identificacion-y-estrategias-de-control/>
- Cervantes, R.C.M., (2022). Comportamiento morfofisiológico del genotipo de ajo (*Allium sativum* L.) criollo bajo el efecto de bioproductos de usos agrícolas. Trabajo de diploma. UNISS. Cuba. Universidad de Sancti Spíritus. 84p
- Diriba S.G., Nigussie D.R., Kebede W., Getachew T., y Sharma J.J., (2015). Effect of nitrogen, phosphorus, and sulphur fertilizers on growth, yield, and economic returns of garlic (*Allium sativum* L.). Star Journal of Wollega University, Ethiopia. 4(2): 10-22.
- Escaff, M. G., Hewston O. N., Saavedra R. G. y Muñoz S.M. (2001). Obtención de semillas verdaderas y perspectivas de su utilización. Tierra Adentro Número 39. Pp 19-21.
- FAOSTAT (2023). Cultivos y productos de ganadería (estadísticas de ajo mundial y nacional). FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Consultado en marzo de 2024 en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>

- FIRCO. (2017) El ajo un producto sazonador y medicinal. Fideicomiso de riesgo compartido. FIRCO. México. Consultado en marzo de 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/el-ajo-un-producto-sazonador-y-medicinal?idiom=es>
- Fritsch R.M. y Friesen N., (2002). Evolution, domestication and taxonomy. Researchgate. Allium Crop Science: Recent Advaneeg. 27p. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237309729\\_1\\_Evolution\\_Domestication\\_and\\_Taxonomy](https://www.researchgate.net/publication/237309729_1_Evolution_Domestication_and_Taxonomy)
- Ferrante A., (2021). Growth and Bulb Yield of Garlic as Influenced by Clove Size. Wiley Online Library. The Scientific World Journal. Volume 2021, Issue 1. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2021/7351873>
- García A.C.R., (1998). El ajo cuidado y aprovechamiento. Mundi-Prensa. 2da edición. México. 203p.
- Earth G. (2024). Google Earth. Ubicación del la parcela experimental. Consultado en marzo de 2024 en: <https://earth.google.com/web/search/Universidad+Aut%c3%b3noma+Agraria+Antonio+Narro,+Calzada+Antonio+Narro,+Buenavista,+Saltillo,+Coah./@25.35648743,-101.03560706,1759.2064312a,105.81640277d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCRkokeOeXDIAETvNVareWTIAGc8qFYN1QVnAle1QgPUZQ1nAOgMKATA>
- Huez L. M.A., López E. J., Jiménez L.J., Garza O.S., Preciado F.F.A., Álvarez A.A., Valenzuela C.P. y Rodriguez C.J., (2010). Fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo. Biotecnia, vol. 12, núm. 3, pp. 23-31.
- Ibáñez A. A. y Carrizo, J. E. (2023). Evaluación en fenología y riego deficitario de *Allium sativum* L. en La Rioja (Argentina). Avances en Horticultura- Review. Revista Horticultura Argentina. Pp 156-174.



- INEGI (2024). Climatología saltillo Cohauila. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. Consultado en abril de 2024 en: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/coah/territorio/clima.aspx?tema=me&e=05>
- INTAGRI (2019). El cultivo de ajo. Consultado en Abril de 2024. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cultivo-de-ajo#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20ajo%20tiene,exportaci%C3%B3n%20principalmente%20a%20pa%C3%ADses%20europeos>
- ITESM. 2014. Atlas de riesgos para el municipio de Saltillo. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. ITESM. México. 424p.
- Lipinski V. M. (2015) Manejo del riego y la fertilización en cultivos de ajo. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. 13 p
- Lipinski V. M y Gaviola S. (2006). Evaluación del rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Vol. XXXVIII, núm. 2, pp. 37-48.
- Lopez B. F.J., Lopez B. R.J., Romero M. V, Fernandez G.P, Lopez B.L., (2016). New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). Wiley Online Library. Volume 169, Issue 3 p. 423-439.
- Macías V.M.L., Maciel P.H.L., Silos E.H., Vázquez M. O., (2009). Mejoramiento de ajo Perla por selección individual en Aguascalientes. Revista Investigación y Ciencia Universidad Autónoma de Aguascalientes, Número 43. Pp 6-10.
- Macías D.R., Grijalva C.R.L., Robles C.F. (2010). Productividad y calidad de variedades de ajo (*Allium sativum* L.) bajo condiciones desérticas en Caborca, Sonora. Revista. Biotecnia, Vol. XII. No.1. 44 p.

- Metwally E., M. El-Denary, A. Omar, Y. Naidoo, y Y. Dewir. (2012). Bulb and vegetative characteristics of garlic (*Allium Sativum* L.) from in vitro culture through acclimatization and field production. *African Journal of Agricultural Research*. 7 (43), 5792-5795.
- Morales M. J. E., Martínez C. R. A., López S. A. J., Castillo G. M. A. y Rubí A. M. (2022). Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 13.
- Pérez M. L., Navarro L. J. M., Mendoza C. B. y Ramírez M. R. (2010). Evaluación de rendimiento de compuestos de ajo tipo Taiwán. *Revista Acta Universitaria*. Vol. 20. Número 3. Pp 63-69.
- Philipp W. S. (2018). Los orígenes del ajo. *Ferroice*. Consultado en abril de 2024 en: <https://www.ferroice.com/blog/2018/11/13/los-origenes-de-ajo/>
- Pizón H. (2007). *Manejo Empresarial del Campo*. Edición: Camilo Baquero. Bogotá. Colombia. Pp 7-14.
- Producepay (2022). ¿Dónde se produce el ajo que consumimos?. Consultado en abril de 2024 disponible en: <https://producepay.com/es/el-blog/donde-se-produce-el-ajo-que-consumimos/#:~:text=China%20es%20el%20pa%C3%ADs%20que,%25%20y%20Egipto%20con%201.2%25>
- Ramírez C. R. H., Castro V. N. L. y Martínez S. E. (2016). Efectos Terapéuticos del Ajo (*Allium Sativum*). *Revista: Salud y admiración*. Vol. 3. Número 8. Pp 39-47.
- Renobales., Sallés J. (2001). *Plantas de interés farmacéutico. Allium sativum: morfología y ecología*. Consultado en abril de 2024 en: <https://www.ehu.eus/documents/1686888/3913390/70.+Allium+sativum.pdf>
- Reveles H. M., Velásquez V. R. y Bravo L. G. A. (2009). *Tecnología para cultivar ajo en zacatecas*. INIFAP. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y

Pecuarias. Centro de investigación regional norte centro. Campó experimental zacatecas. Primera Edición. Libro técnico N° 11. 294 p.

Rodriguez S. M. y Flórez R. J. M. (2004). Elementos Esenciales y Beneficiosos. Ferti-Riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura. Pp 25-36.

Saluzzo J. A. (2003). Nutrición nitrogenada, crecimiento y rendimiento de ajo (*Allium sativum*L.) en respuesta a la fertilización nitrogenada en el SE de Buenos Aires, Argentina. Revista: Agriscienta. Vol. XX. Pp 53-60.

SADER. (2021). Se ubica México como el noveno exportador mundial de ajos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado en abril de 2024 en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-ubica-mexico-como-el-noveno-exportador-mundial-de-ajos#:~:text=y%20el%20envejecimiento,.La%20producci%C3%B3n%20nacional%20de%20ajo%20creci%C3%B3n%204.3%20por%20ciento%20al,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural>!

Sembralia (2023). Explorando la Fertilización del Ajo: Estrategias para un Abonado Óptimo. Sembralia. Consultado en mayo de 2024 en: <https://sembralia.com/blogs/blog/plan-fertilizacion-ajo#:~:text=El%20Papel%20Crucial%20del%20Abono%20en%20el%20Cultivo%20de%20Ajo&text=Un%20abonado%20correcto%20asegura%20que,la%20formaci%C3%B3n%20de%20los%20bulbos>

SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Consultado en mayo de 2024 en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Siqueira I. R. y Marcelo D. (2024). Mayor rendimiento y mejor NUE en el cultivo del ajo. Haifa Pioneering the future. Consultado en mayo de 2024 en: <https://www.haifa-group.com/es/haifa-blog/mayor-rendimiento-y-mejor-nue-en-el-cultivo-del-ajo>

SMEAP (2023). Funciones del Potasio en la Plantas. Capacitación agrícola aplicada. Consultado en mayo de 2024 en: <https://smeapmexico.org/funciones-del-potasio-en-las-plantas/>

Soto H. L. B. (2018). Introducción y Evaluación de Parámetros de Rendimiento de 4 Variedades del Cultivo de Ajo (*Allium sativum* L.) en Condiciones de la Provincia de Acoma. Tesis de licenciatura. Acobamba. Huancavelica. Pp 53-63. Universidad Nacional de Huancavelica.

Zamora E. (2016). El cultivo de ajo. Universidad de Sonora. Serie guías - producción de hortalizas DAG/HORT-014. Consultado en abril de 2024 en: <https://dagus.unison.mx/Zamora/AJO-DAG-HORT-014.pdf>

## VII. APENDICE

### Fotografías de campo:



**Preparación de terreno**



**Formación de camas para siembra**



**Instalación de sistema de riego**



**Siembra**



**Emergencia y riego (radicular)**



**Fertilización por goteo**



**Identificación de tratamientos (vegetativa)**



**Riego y fertilización (división)**



**Cosecha**



**Toma de datos**



**Toma de datos para las variables evaluadas**

