



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

EFFECTO DEL FOTOPERÍODO Y DÉFICIT HÍDRICO EN  
EL CONTROL DEL REBROTE DEL AJO (*Allium sativum*  
L.)”.

CARMEN JAEL CANDELAS MEJIA

## TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

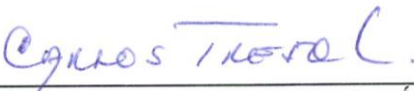



MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **EFFECTO DEL FOTOPERIODO Y DÉFICIT HÍDRICO EN EL CONTROL DEL REBROTE DEL AJO (*Allium sativum* L.)** realizada por la alumna: **CARMEN JAEL CANDELAS MEJIA** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____
	DR. CARLOS TREJO LÓPEZ
DIRECTORA DE TESIS	 _____
	DRA. ALEJANDRINA ROBLEDO PAZ
ASESOR	 _____
	DR. CARLOS RÁMIREZ AYALA
ASESOR	 _____
	M.C. ENRIQUE MARTÍNEZ VILLEGAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2017

# EFFECTO DEL FOTOPERIODO Y DÉFICIT HÍDRICO EN EL CONTROL DEL REBROTE DEL AJO (*Allium sativum* L.)

Carmen Jael Candelas Mejia, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2017

## RESUMEN

En los últimos 30 años se han realizado numerosos estudios con el fin de disminuir los problemas de “rebrotado” (escobeteado) en el cultivo del ajo, malformación que aparece en diferentes porcentajes año con año y disminuye su calidad. Resultados preliminares indican que las siembras tempranas, la aplicación de dosis altas de nitrógeno y la siembra a densidades de población bajas, son causas probables que incrementan el rebrote en esta especie. Investigaciones hechas recientemente han mostrado que someter a las plantas a estrés hídrico y fotoperiodos cortos antes de la cosecha incrementa la concentración de compuestos inhibidores del crecimiento y reducen la incidencia de esta malformación. Por ello el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del fotoperiodo y el déficit hídrico en el control del rebrotado. El trabajo se realizó en un invernadero del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, ubicado a 19° 28' 4.26" latitud norte y 98° 53' 42.18" longitud oeste, con una altitud de 2,250 msnm. Se diseñaron dos experimentos independientes para cada uno de los factores estudiados (fotoperiodo y déficit hídrico). El experimento de fotoperiodo tuvo dos tratamientos (fotoperiodo largo, 11 h y fotoperiodo corto, 8 h) con 75 repeticiones por tratamiento; en el experimento de déficit hídrico hubo tres tratamientos de humedad aprovechable (100-80, 70-50 y 40-20%), con 30 repeticiones cada uno. En ambos experimentos (fotoperiodo y déficit hídrico) no se presentó el fenómeno denominado “rebrote” lo que nos hace pensar que la variedad utilizada (Tacátzcuaro) presenta adaptabilidad a las condiciones ambientales de la región del Oriente del Estado de México, pudiendo ser una opción para la producción de ajo en esta región.

**Palabras clave:** *Allium sativum* L., fotoperiodo, déficit hídrico, rebrotado.

# EFFECT OF PHOTOPERIOD AND WATER DEFICIT IN GARLIC BRANCHING (*Allium sativum* L.).

Carmen Jael Candelas Mejia, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2017

## ABSTRACT

In the last 30 years there have been numerous studies which address the reduction of branching problems in garlic crops, this malformation appears in different proportions each year and decreases the crops' quality. Previous results have indicated that early plantings, application of high doses of nitrogen and seeding at low population densities, are likely to cause the increase of branching in this species. Recent research has shown that exposing garlic plants to water stress and short photoperiods before harvest, increases the concentration of growth inhibitory compounds and reduce the incidence of this malformation. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of photoperiod and water deficit in branching control. The study was carried out in a greenhouse located at Colegio de Postgraduados Experimental Field in Montecillo, State of Mexico. Its geographic location is 19° 28' 4.26" N latitude and 98° 53' 42.18" W longitude, altitude of 2,250 meters above sea level. The photoperiod experiment had two treatments (long photoperiod, 11 h and short photoperiod, 8 h) with 75 repetitions per treatment; in the water deficit experiment there were three soil water availability treatments (100-80, 70-50 and 40-20%), with 30 repetitions each. The results found in this study showed that none of the treatments tested in any of the two experiments (photoperiod and water deficit) presented the branching malformation. In the photoperiod and water deficit treatment there was no visible branching, the latter makes us think that the variety used (Tacátzcuaro) has adaptability to the experimental conditions provided in this study, resulting as a feasible option for the production of garlic in the state of Mexico.

**Keywords:** *Allium sativum* L., photoperiod, water deficit, branching.

## DEDICATORIA

A mis padres, **Crispin Candelas de la Cruz** y **María Cruz de la Cruz Diaz**, quienes con sus consejos alientan mi corazón para seguir adelante.

A mis hermanos, **Mary Cruz** y **Osler** por formar parte de mi vida y ser mi más grande regalo.

A mi familia, en especial **Yolloxochitl**, **Nicteloy** y **Silene** por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por tener siempre una palabra de aliento y sobre todo por su amor incondicional.

A mis amigas y amigos, en especial **Consuelo**, **Violeta** y **David** porque en los momentos más difíciles me alentaron a seguir adelante, gracias por su compañía, cariño y amistad. Todos los momentos que hayamos compartido quedaran atesorados en mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados**, Posgrado en Botánica, por brindarme las facilidades, conocimientos y herramientas para una formación académica de excelencia.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haberme apoyado durante mis estudios.

A la **Dra. Alejandrina Robledo Paz**, por sus enseñanzas, por su apoyo y orientación constante.

Al **Dr. Carlos Trejo López**, por su valiosa guía y sus atinados consejos que igualmente hicieron posible la culminación de esta investigación

Al **Dr. Carlos Ramírez Ayala**, por sus consejos y buena disposición para que se llevara a cabo este trabajo.

Al **M. C. Enrique Martínez Villegas**, por su confianza, disposición e innumerables sugerencias.

A **mis maestros** por el apoyo brindado en todo momento durante mi estancia en el colegio.

A mis compañeros, amigos que de una u otra manera formaron parte de mi vida.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1 La luz .....	2
2.1.1 Fotomorfogénesis .....	4
2.1.2 Fotoperiodo .....	5
2.2 El agua.....	7
2.2.1 Importancia del agua en la agricultura .....	8
2.2.2 El agua en las plantas .....	8
2.2.3 Respuestas de las plantas a condiciones de estrés hídrico .....	9
2.2.4 Ácido abscísico .....	10
2.3 Cultivo del ajo ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	11
2.3.1 Importancia mundial .....	11
2.3.2 Importancia nacional .....	12
2.3.3 Importancia medicinal ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	12
2.4 Generalidades del cultivo.....	13
2.4.1 Descripción botánica .....	13
2.4.2 Requerimientos climáticos .....	15
2.4.2.1 Humedad .....	17

2.4.2.2 Suelo .....	17
2.4.3 Variedades .....	17
2.4.4 Crecimiento y bulbificación del ajo .....	18
2.5 Malformaciones más comunes en ajo .....	19
2.5.1 Rebrotado.....	20
2.5.1.1 Relación del fotoperiodo en el rebrote del ajo .....	21
2.5.1.2 Relación de la humedad en el rebrote del ajo .....	22
III. OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivo general.....	23
3.2 Objetivos particulares .....	24
IV. HIPÓTESIS.....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1 Material vegetal.....	24
5.2 Establecimiento del cultivo.....	25
5.3 Riego.....	27
5.4 Fertilización.....	27
5.5 Condiciones evaluadas.....	28
5.5.1 Condiciones experimentales evaluadas .....	28
5.6 Diseño experimental .....	29
5.7 Variables de estudio .....	30
5.8 Análisis de datos.....	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
6.1 Temperatura .....	32



6.2.1 Variables de crecimiento .....	34
6.2.1.1 Altura de la planta.....	34
6.2.1.2 Número de hojas .....	35
6.2.1.3 Diámetro del bulbo y número de dientes .....	36
6.2.2 Variables de biomasa.....	38
6.2.2.1 Peso fresco y seco de hojas y bulbo .....	38
6.2.2.2 Porcentaje de ajos rebrotados.....	40
6.3 Efecto del déficit hídrico del cultivo del ajo ( <i>Allium sativum</i> L.).....	42
6.3.1 Variables de crecimiento .....	42
6.3.1.1 Altura de la planta.....	42
6.2.1.2 Número de hojas .....	44
6.3.1.3 Diámetro del bulbo y número de dientes .....	45
6.3.2 Variables de biomasa.....	47
6.3.2.1 Peso fresco de hojas y bulbo .....	47
6.3.2.2 Porcentaje de ajos no diferenciados .....	48
VII. CONCLUSIÓN .....	52
VIII.LITERATURA CITADA .....	53

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales países productores de ajo. ....	11
Cuadro 2. Producción de ajo por estado de la República Mexicana. ....	12
Cuadro 3. Aplicación de N-P-K-Ca en porcentaje de acuerdo a los requerimientos del cultivo del ajo (Reveles-Hernández <i>et al.</i> , 2009). ....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético (Duque-Escobar, 2016). ....	2
Figura 2. Planta de ajo. ....	15
Figura 3. Semilla de ajo de la variedad Tacázcuaru. ....	25
Figura 4. Siembra de ajo. ....	26
Figura 5. a. Selección de plántulas por tamaño. b. Trasplante a macetas. ....	26
Figura 6. Preparación del sustrato. ....	27
Figura 7. Parte aérea y bulbo de ajo. ....	31
Figura 8. Temperaturas medias registradas en la estación meteorológica del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados e INIFAP del Bajío Guanajuatense. ....	33
Figura 9. Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) en la altura de plantas de ajo var. Tacázcuaru. Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones $\pm$ el error estándar. ....	35
Figura 10. Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre número de hojas de plantas de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.). ....	36

Figura 11. Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre el diámetro del bulbo y número de dientes en plantas de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	38
Figura 12. Efecto del fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre peso fresco de las hojas y bulbo de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.).....	40
Figura 13. Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre el porcentaje de ajos no diferenciados ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	42
Figura 14. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable en el suelo sobre la altura de las plantas de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	44
Figura 15. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el número de hojas de las plantas de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	45
Figura 16. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el diámetro del bulbo y número de dientes de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.).....	46
Figura 17. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el peso fresco de las hojas y bulbo de plantas de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.).....	48
Figura 18. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el porcentaje de ajos no diferenciados ( <i>Allium sativum</i> L.).....	49

## I. INTRODUCCIÓN

El ajo es una hortaliza muy apreciada y generalmente es usada como condimento; en México se estima un consumo anual per cápita de aproximadamente 400 gramos (Chávez, 2008). Aunque China, India, Corea, Egipto y Rusia encabezan la lista de los países productores; México es considerado uno de los principales exportadores de ajo, con una superficie estimada de 7,300 hectáreas y una producción superior a las 55 mil toneladas, siendo por lo tanto una importante fuente de divisas (Trejo, 2006).

El ajo (*Allium sativum* L.) presenta una gama amplia de respuestas a las condiciones ambientales del sitio en el que crece, ocurriendo esto aún dentro de cultivares de gran uniformidad genética, de tal manera que su calidad está fuertemente determinada por las condiciones ambientales (Olmedo *et al.*, 2003).

La calidad comercial del bulbo de ajo está definida por su tamaño, forma y ausencia de defectos, siendo más apreciados los tamaños grandes, regulares y sin defectos visuales (malformaciones) (Olmedo *et al.*, 2003).

Un “diente” separado de su bulbo “madre” recién cosechado es incapaz de brotar en condiciones ambientales normales debido al estado de latencia en que se encuentra. Este período de latencia es variable dependiendo del cultivar y las condiciones de almacenamiento de esos bulbos (fundamentalmente temperatura y humedad relativa) (Burba, 2003). No obstante, en el cultivo del ajo es posible observar una malformación conocida como “ramaleo”, escobeteado o “rebrote”, que es la tendencia de los nuevos bulbillos o “dientes” a brotar anticipadamente, estando

próximos a ser cosechados, la cual ocasiona que los bulbos pierdan su valor comercial (Olmedo *et al.*, 2003).

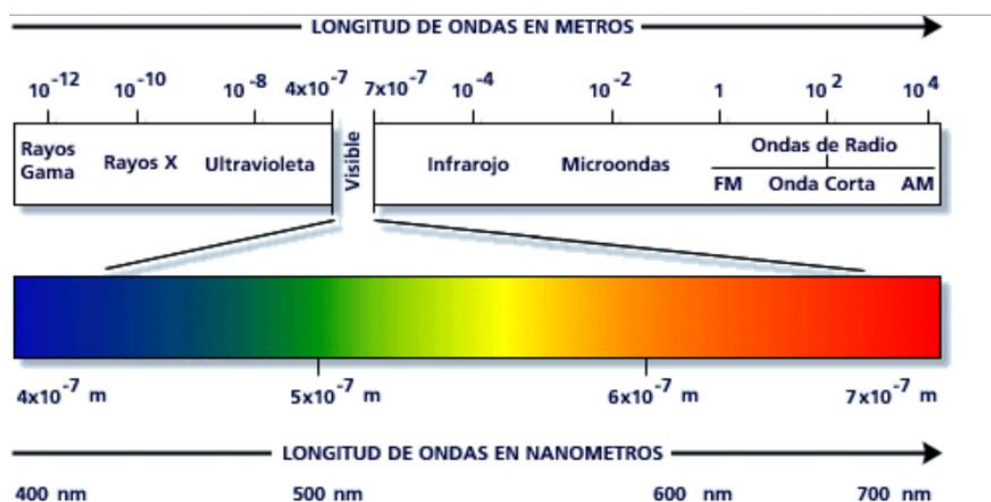
Hay varios factores que se han relacionado con el rebrote del ajo, como el fotoperíodo (Park y Lee, 1979), la temperatura (Souza y Casali, 1986), la fertilización nitrogenada (Bull *et al.*, 2002), el riego (García, 1964), las giberelinas (Moon y Lee, 1980) y también se le ha asociado al tipo de cultivar utilizado (Souza y Macedo, 2004).

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del fotoperíodo y déficit hídrico en el control del rebrote de la variedad Tacázcuar de ajo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La luz

La luz es una forma de energía radiante que viaja en ondas compuestas de vibración, campos eléctricos y magnéticos. Estas ondas tienen amplitud, frecuencia, velocidad y longitud de onda (**Figura 1**).



**Figura 1.** Espectro electromagnético (Duque-Escobar, 2016).

La luz visible, como se puede ver en el espectro electromagnético, representa una banda estrecha entre la luz ultravioleta (UV) y la energía infrarroja (calor). La luz es uno de los factores ambientales más importantes para las plantas, ya que proporciona la fuente de energía para la vida de ellas. Por lo tanto, no es sorprendente que las plantas han adoptado la capacidad de detectar varios parámetros de las señales de luz ambiental, incluida la cantidad de luz (fluencia), la calidad (longitud de onda), dirección y duración (Jiao *et al.*, 2007).

Las respuestas de las plantas a la luz se producen en el contexto de múltiples procesos de desarrollo, incluyendo la germinación de semillas, fotomorfogénesis, fototropismo, el movimiento del cloroplasto, movimientos pleonásticos, los ritmos circadianos y la inducción de la floración (Jiao *et al.*, 2007).

En las hojas, la luz tiene un efecto importante sobre los estomas que es independiente de la fotosíntesis. Es factible que la luz actúe sobre las células del mesófilo, las cuales envían algún mensaje a las células oclusivas, o puede ser que el fotorreceptor se encuentre en las mismas células oclusivas (Salisbury y Ross, 1992).

La influencia de la calidad de la luz en la morfología de las plantas comprende múltiples respuestas, la elongación del tallo, expansión de las hojas y el ángulo de la hoja son algunas de las más importantes (Dueck *et al.*, 2016).

La calidad de la luz se refiere a la distribución espectral de la luz, o el número relativo de fotones de azul, verde, rojo, rojo lejano y otras porciones del espectro de luz que es emitida por una fuente de luz. Algunas de estas partes son visibles, mientras otras no lo son. Cada fotón dentro del espectro de luz visible tiene el potencial para conducir la fotosíntesis. La energía de cada fotón es dependiente de

su longitud de onda. Los fotones con una longitud de onda corta, como la ultravioleta (UV), tienen más energía que los fotones con una longitud de onda más larga, como la luz roja. La luz azul es la porción de luz que tiene una longitud de onda entre 400 y 500 nm, la luz verde (500 a 600 nm) y la luz roja (600 a 700 nm), estas componen el espectro de la luz que es principalmente utilizado para la fotosíntesis (400 a 700 nm) (Runkle, 2008).

La intensidad y la calidad (distribución espectral) de la luz son factores determinantes en el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Fukuda *et al.*, 2008).

Los cambios en la calidad de la luz afectan considerablemente muchos parámetros anatómicos, fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en las plantas (Haliapas *et al.*, 2008).

### **2.1.1 Fotomorfogénesis**

La calidad de la luz tiene un efecto determinante en la morfogénesis vegetal y sus efectos se han utilizado con fines comerciales en plantaciones hortícolas (Rajapakse y Shahak, 2007).

La fotomorfogénesis involucra tres grupos importantes de fotorreceptores transductores de información: los fitocromos, los receptores de la luz azul y los fotorreceptores de luz UV-B (Jiao *et al.*, 2007); aunque también se ha reportado la presencia de un compuesto a base de zeaxantina como receptor de luz verde (Folta y Maruhnich, 2007).

La fotosíntesis y fotomorfogénesis producen efectos sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y metabolitos secundarios, en respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a

700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fitocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Devlin *et al.*, 2007). Las respuestas fotomorfogénicas confieren una ventaja que permite a un individuo maximizar el potencial del entorno de luz para la fotosíntesis (Schäfer y Nagy, 2002).

La fotomorfogénesis es particularmente importante en la agricultura, donde maximizar el rendimiento es de suma importancia. Sin embargo, las respuestas a la luz no siempre son las deseadas en un entorno agrícola. El que las plantas busquen la luz, confiere una ventaja importante para la competencia entre especies, pero se vuelve perjudicial en un campo uniforme de los cultivos ya que promueve crecimiento heterogéneo por la competencia de luz, disminuyendo así el rendimiento (Devlin *et al.*, 2007).

### **2.1.2 Fotoperiodo**

Es el intervalo de luz/oscuridad en un ciclo diario de 24 h. En el ecuador (latitud cero) el fotoperiodo es una constante de 12 h de luz y 12 h oscuridad pero, debido a la inclinación del eje de la tierra hacia el sol, mientras se mueve desde el ecuador hacia uno u otro de los polos de la Tierra los periodos de luz y oscuridad cambian para convertirse en divisiones desiguales del ciclo de 24 h (Thomas y Vince-Prue, 1997).

Hay tres tipos principales de respuesta al fotoperiodo: 1) plantas de día corto (SDP por sus siglas en ingles), en el que se induce la respuesta cuando el fotoperiodo es más corto que la duración del día crítico (CDL por sus siglas en ingles); 2) plantas de día largo (PLD por sus siglas en ingles) en las que se induce la respuesta cuando el fotoperiodo supera el CDL; y 3) plantas de día neutro (DNP por sus siglas en



ingles), que no responden al fotoperíodo. Las plantas son capaces de medir el tiempo por medio de un mecanismo de tiempo de mantenimiento endógeno llamado reloj circadiano (Thomas y Vince-Prue, 1997). La respuesta al fotoperíodo se pueden modular o incluso reprimir por otros factores ambientales (Bernier y Perilleux, 2005), como la vernalización, temperatura alta, irradiación alta, o fertilización nitrogenada baja pueden sustituir la inducción dada por el fotoperíodo.

El fotoperíodo ejerce función importante en el control de la evocación floral en diversas plantas adultas. Muchas plantas poseen un mecanismo para medir la duración del día y no florecen, a menos que reciban días cortos o largos (Tofiño *et al.*, 2013). Este factor ambiental es importante, ya que como lo menciona Scott (1984), mientras que las plantas neutras no responden al fotoperíodo y no tienen alteración en la iniciación de primordios florales, las plantas sensibles si responden, en éstas el fotoperíodo ejerce el control principal de la floración.

En ajo el fotoperíodo largo provoca el alargamiento inicial de tallos de las flores dentro de los bulbos en desarrollo (Kamenetsky *et al.*, 2004). El fotoperíodo, al igual que otros estímulos ambientales, regula la respuesta de la planta a través de las señales internas y los cambios en las concentraciones de las hormonas. El fotoperíodo largo es conocido por incrementar los niveles de giberelinas endógenas, con la consiguiente florigenesis (King *et al.*, 2006).

La germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica delimitan las etapas vegetativa y reproductiva de las plantas; la duración de cada etapa depende del genotipo que interactúa con la temperatura y el fotoperíodo del ambiente donde se desarrolla el cultivo (Bolaños y Edmeades, 1993).

En general, el contraste en el ambiente modifica en grado variable las características morfológicas de las plantas. Los caracteres cuantitativos (número de hojas, altura de la planta, número de flores, número de frutos, etc.) son altamente modificados al extremo que la influencia del ambiente puede eclipsar la diferencia entre genotipos.

Bolaños y Edmeades (1993) afirman que los caracteres modificados en mayor medida por el fotoperiodo y el ambiente relativos al crecimiento, incluyen la relación del tamaño de las hojas y tallos, crecimiento total, expresión de vigor, caracteres estacionales como latencia invernal y época de floración.

## **2.2 El agua**

En el contexto de la actual situación ambiental y ecológica mundial, sin duda uno de los problemas de mayor trascendencia es el referente al agua, no sólo por las fuertes desigualdades que impone su distribución geográfica, tanto en el tiempo como en el espacio, sino, sobre todo, por las decisiones políticas y económicas que determinan nuestra relación social con este vital líquido (Peña, 2007).

El agua dulce disponible, la luz y la temperatura, entre otros factores, determinan la cantidad de vida y la diversidad de especies en un área específica. En las zonas tropicales húmedas donde hace mucho calor, hay mucha luz (energía disponible) y llueve mucho, lo más frecuente es encontrar gran cantidad de vida, que se manifiesta en una diversidad alta de especies (Cortés *et al.*, 2004).

En zonas con condiciones distintas, como en los desiertos o las zonas áridas, la biodiversidad tiende a ser menor. En las zonas templadas y húmedas es común encontrar gran cantidad de vida, pero en proporción, menos cantidad de especies,

de las cuales algunas dominan el entorno, como los árboles de los bosques templados o fríos (Cortés *et al.*, 2004).

### **2.2.1 Importancia del agua en la agricultura**

El agua juega un papel fundamental en la producción vegetal. En los ecosistemas naturales determina el tipo de vegetación con base en el gradiente de precipitación de cada zona. La razón por la cual es limitante, se debe a la gran cantidad que las plantas usan durante su desarrollo (Taiz y Zeiger, 2010).

Alrededor de 64% de los suelos del país está afectado por algún tipo de degradación; los procesos más importantes de deterioro son la erosión hídrica (37%) y la eólica (15%).

### **2.2.2 El agua en las plantas**

El agua es la molécula esencial para la vida; en las plantas constituye típicamente del 80 al 95% de la masa de los tejidos en crecimiento y desempeña varias funciones únicas. Es el solvente más abundante y mejor conocido y, como tal, permite el movimiento de moléculas dentro y entre las células. Debido a sus propiedades polares, tiene gran influencia en la estructura y la estabilidad de moléculas tales como proteínas, polisacáridos y otras (Kirkham, 2005).

El agua es vital para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El estrés por déficit de agua, permanente o temporal, limita el crecimiento y la distribución de la vegetación natural y el rendimiento de las plantas cultivadas más de lo que lo hacen otros factores ambientales (Shao *et al.*, 2008).

El agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en la tierra, actuando como una fuerza selectiva de primer grado para la evolución y distribución de las especies vegetales (Hanson *et al.*, 2003).

Teniendo en cuenta la gran importancia del agua en las plantas, se puede considerar que una cantidad limitada o excesiva de agua para éstas constituye un factor inductor de situaciones adversas o estresantes (Moreno, 2009).

### **2.2.3 Respuestas de las plantas a condiciones de estrés hídrico**

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. Muchas plantas han desarrollado respuestas que les permiten tolerar diferentes niveles de déficit de agua, que van desde un estrés hídrico leve, causado por la disminución del potencial hídrico al mediodía, hasta aquellas que les permiten sobrevivir en hábitat desérticos.

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radical (Potters *et al.*, 2007, Shao *et al.*, 2008). Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, estructuras responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2010). Esta respuesta está mediada por la hormona ácido abscísico (ABA) (Zhang y Outlaw, 2001).

Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996).

El déficit de agua en la raíz puede aumentar el suministro de etileno a los brotes y esta hormona puede actuar para restringir el crecimiento de brotes (Hussain *et al.*, 2000).

#### **2.2.4 Ácido abscísico**

El ácido abscísico (ABA) está involucrado en el proceso de adaptación de la planta a diferentes tipos de estrés ambiental, y se ha comprobado que bajo estas condiciones los niveles de ABA se incrementan en los tejidos vegetales (Zeevaart y Creelmen, 1988).

El ácido abscísico se encuentra en todas las plantas superiores y es una hormona indispensable en la regulación del desarrollo de las semillas y en la respuesta al estrés ambiental (deseccación del suelo, salinidad y frío) ya que puede ser determinante frente a estas condiciones de estrés (Busk y Pagés, 1997).

El ABA es una molécula potente que modifica el comportamiento de los estomas y regula la pérdida de agua, probablemente actúa para modificar el crecimiento de las hojas. La hormona se sintetiza tanto en las hojas y las raíces de la planta y pueden moverse libremente de la planta al suelo (Sauter *et al.*, 2001). También puede moverse rápidamente a través de la planta, tanto en el xilema como por floema, y se repartirá entre los diferentes compartimentos de los tejidos, en gran medida en función del pH (Sauter *et al.*, 2001).

El ácido abscísico (ABA) es una hormona que controla la latencia de las semillas y germinación así como la respuesta global de la planta a las tensiones ambientales importantes, tales como la sequía (Kelli *et al.*, 2010).

## 2.3 Cultivo del ajo (*Allium sativum* L.)

### 2.3.1 Importancia mundial

La producción mundial de ajo y su comercio internacional han venido experimentando un aumento sostenido, como consecuencia del cambio de los hábitos de consumo hacia una alimentación más saludable y del reconocimiento de sus propiedades terapéuticas.

Esta hortaliza ha formado parte de la historia del hombre desde épocas remotas, tanto por su consumo en diversos platillos, fresco o deshidratado, como por sus atributos históricos divinos, místicos, de prevención de enfermedades y recuperación de vigor y fuerza. Ocupa el segundo lugar en importancia a nivel mundial dentro de las especies del género *Allium*, después de la cebolla (*Allium cepa* L.) (Acosta-Rodríguez *et al.*, 2008). No obstante, China Continental, India, República de Corea, Egipto y la Federación de Rusia cosechan prácticamente 97% de la superficie total mundial (Cuadro 1) (FAOSTAT, 2013).

**Cuadro 1.** Principales países productores de ajo.

País	Área cosechada (ha)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Producción (t)
China Continental	777,290	24.6611	19,168,800
India	248,000	5.0766	1,259,000
República de Corea	29,352	14.045	412,250
Egipto	9,304	25.1681	234,164
Federación de Rusia	27,498	8.4676	232,843

Fuente: FAOSTAT (2013)

### 2.3.2 Importancia nacional

En México se producen anualmente entre 50,000 y 60,000 t de ajo, con un rendimiento promedio de 11.11 t ha<sup>-1</sup>; el 50% de la producción se destina a la exportación y el resto para el consumo interno. Se cultiva en 20 estados de la República Mexicana; en el año 2014, los principales estados productores fueron: Zacatecas, Guanajuato, Aguascalientes, Baja California, Puebla y Sonora (**Cuadro 2**).

**Cuadro 2.** Producción de ajo por estado de la República Mexicana.

Ubicación	Sup. sembrada (ha)	Sup. cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Valor Producción (miles de pesos)
Aguascalientes	213.00	213.00	2,859.80	13.43	33,721.60
Baja California	376.00	376.00	3,592.00	9.55	67,347.61
Guanajuato	316.00	316.00	3,417.20	10.81	51,931.58
Sonora	566.00	566.00	3,707.92	6.55	60,953.08
Zacatecas	2,048.00	2,048.00	27,159.50	13.26	303,375.17
<b>Total</b>	<b>3,519.00</b>	<b>3,519.00</b>	<b>40,736.42</b>	<b>53.6</b>	<b>517,329.04</b>

Fuente: SIACON (2014)

### 2.3.3 Importancia medicinal (*Allium sativum* L.)

El ajo destaca por sus propiedades medicinales, basadas en el contenido de compuestos de azufre de olor fuerte. Tiene un efecto desintoxicante potente en el cuerpo humano, actúa como expectorante, con efectos antibióticos y antifungosos; es benéfico para el sistema cardiovascular, ideal para combatir resfriados y

contribuye al tratamiento de enfermedades circulatorias y bronquiales, entre otras propiedades curativas (Heredia, 2000).

## 2.4 Generalidades del cultivo

### Taxonomía (Stavělková, 2008)

Clase.....Liliopsida  
Subclase..... Liliidae  
Superorden.....Liliianae  
Orden.....Amaryllidales  
Familia.....Alliaceae  
Subfamilia.....Allioideae  
Tribu.....Allieae  
Género.....*Allium*  
Especie.....*Allium sativum* L.

#### 2.4.1 Descripción botánica

**Planta:** monocotiledónea, herbácea, bianual, resistente al frío, es de reproducción vegetativa (**Figura 2**).

**Hojas:** las hojas son opuestas lineales, de unos 45 a más cm de longitud de limbo de entre 30 y 40 mm de anchura máxima. Sentadas, sin peciolo. La vaina de la hoja es más larga a medida que éstas se van sucediendo en la planta. Las más largas llegan a alcanzar en algunos ecotipos hasta 35-40 cm de altura (**Figura 2a**).

**Pseudotallo:** las vainas cilíndricas de la planta forman un falso tallo (**Figura 2b**).

**Bulbo:** llamado cabeza de ajo, está formado por las yemas axilares de las hojas, desarrolladas y transformadas en órganos de reserva. Cada yema origina un diente o también llamado bulbillo de ajo (**Figura 2c**).



**Tallo:** el tallo propiamente es un disco subterráneo, de donde nacen las raíces y cuyas yemas dan lugar a las hojas y a los dientes que formaran la cabeza (**Figura 2d**).

**Raíces:** fasciculadas, blancas, de 0.1 a 0.5 mm de diámetro, que llegan a profundizar hasta 40-50 cm con facilidad (**Figura 2e**).

**Escapo:** el escapo o tallo floral, es un tallo que termina en un receptáculo floral envuelto por una espata caduca, aunque a veces puede quedar adherida a la inflorescencia, formada por una sola pieza y en algunos ecotipos se abre en dos mitades que pueden dar la sensación que son dos hojas. El escapo es cilíndrico, generalmente macizo, de 40 a más de 100 cm de largo y alrededor de 10 a 12 mm de diámetro en su zona central, siendo más grueso en su zona basal y más fino en la apical, la mayoría de las veces no se presenta enhiesto sino encorvado o más o menos retorcido.

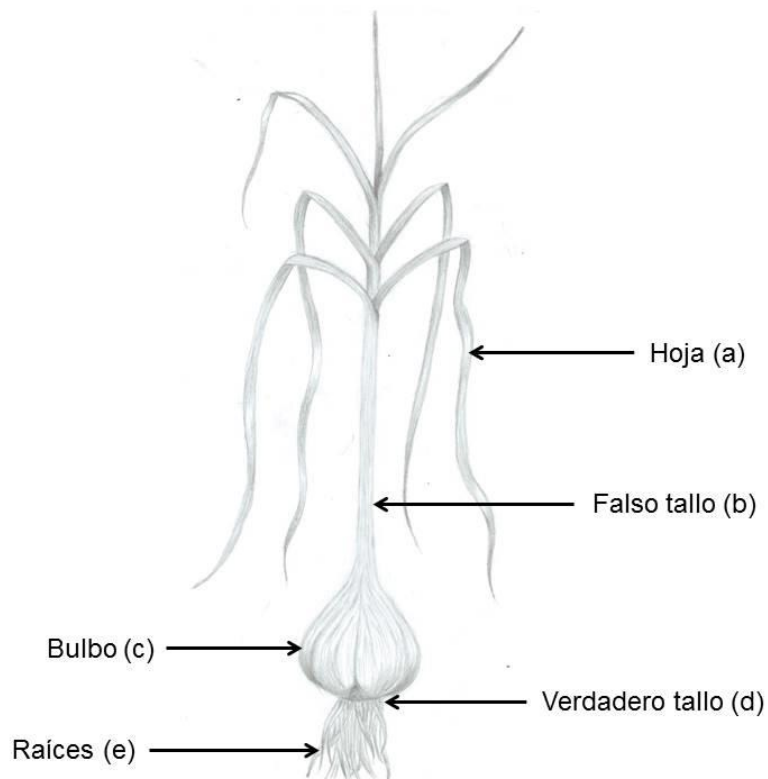
Las variedades y ecotipos blancos y rosas no presentan tallo floral en condiciones normales de cultivo.

**Inflorescencia:** la inflorescencia es una umbela formada por un número de flores que oscila entre 80 y más de 200, con pedicelos de 2 a 4 cm de largo, tomando en conjunto una forma esférica de unos 5 a 9 cm de diámetro.

**Flores:** las flores están formadas por seis pétalos de color violáceo, rojizo o rosado, seis estambres y un pistilo plurilocular que termina en un estigma filiforme.

**Frutos:** las flores rara vez dan lugar a frutos y verdaderas semillas viables.

En el cultivo de ajo, se conoce tradicionalmente como semilla a los dientes que se utilizan en la plantación o a las cabezas de donde proceden los dientes.



**Figura 2.** Planta de ajo.

#### **2.4.2 Requerimientos climáticos**

La temperatura mínima para crecimiento del ajo está entre 4 y 8 °C, mientras que la temperatura crítica de helada es de -1 °C. En etapas tempranas de desarrollo le son favorables temperaturas de entre 8–16 °C para la brotación y formación de bulbos. Después de la inducción de bulbos, temperaturas de entre 18 y 20 °C son favorables para el crecimiento del bulbo; la temperatura máxima durante éste periodo no debe ser superior a los 30 °C (Santibáñez, 1994). Para el logro de buenos rendimientos, la media óptima está alrededor de los 18 °C, con una máxima que no debe superar los 26 °C. Para una buena germinación, los “dientes” que se utilizan como material de propagación deberían mantenerse, el mes antes de la siembra, a temperaturas

de 0-10 °C (Benacchio, 1982). Las temperaturas bajas promueven la iniciación floral, mientras que temperaturas altas la inhiben y promueven el desarrollo del bulbo.

De acuerdo con Alvarado (2000) las temperaturas de almacenaje de ajo son de 5 a 10 °C por uno a dos meses, lo cual acorta el período de latencia, y hace que la brotación sea más rápida, lo cual justifica el comportamiento de la germinación, como también el desarrollo y crecimiento de la planta en la semilla estudiada.

Este intervalo de temperaturas favorece la acumulación de citocininas que estimulan la germinación de las semillas y aceleran el proceso de brotación y junto con las giberelinas actúan interrumpiendo el período de latencia de las semillas, haciéndolas germinar y movilizandolas reservas en azúcares (Alvarado (2000). Las giberelinas parecen jugar un papel clave en la bulbificación. En el caso de cebolla, se ha reportado que este proceso es controlado por el fotoperíodo y las giberelinas (Mita y Shibaoka, 1984).

Racca *et al.* (1981) encuentran que si las horas de frío acumuladas durante la latencia y el período vegetativo fueron más de las necesarias, la planta bulbifica independientemente de la longitud del día, mientras que si el frío acumulado no es suficiente, la bulbificación puede no producirse aún bajo fotoperíodo adecuado.

De acuerdo con Portela y Lucero (2007) el tratamiento con frío, permite la adaptación de germoplasma de ajo a condiciones termo-fotoperiódicas locales marginales, se asocia sin embargo, a un rendimiento menor por acortarse la etapa vegetativa, así como a una calidad comercial menor debido a una incidencia mayor de malformaciones en el bulbo.

#### 2.4.2.1 Humedad

La planta de ajo necesita riegos en alta frecuencia con láminas muy pequeñas de agua, generalmente en sistemas de riego por goteo. Mediante este sistema de riego se genera a la zona radical, un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permiten incrementar la rentabilidad del sistema de producción, obtener mayores rendimientos y mejor calidad del ajo (Heredia, 2000).

#### 2.4.2.2 Suelo

El ajo prospera en suelos francos, franco arcillosos y franco-arcilloso-limosos, no requiere suelos profundos siendo suficiente 40-60 cm de suelo con buen drenaje, obtiene mejor rendimiento en suelos calcáreos y es moderadamente tolerante a la salinidad, crece con un pH entre 5 y 7.5, no tolera encharcamientos (Benacchio, 1982).

### **2.4.3 Variedades**

Las variedades comerciales de ajo han sido clasificadas en diferentes grupos, sin embargo, algunas veces la diferencia entre ellas no es muy clara por lo que a continuación se presenta una guía para definir diferentes grupos de variedades:

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 latencia reducida y son de ciclo corto (155-165 días) con requerimientos de frío bajos 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 vainas envolventes muy gruesas de color pardo violáceo o vinoso. Algunas de las variedades consideradas

en este grupo son: Chileno Compuesto I, Hermosillo, Pocitas, Napuri, Taiwán, Tacázcuaru y Huerteño.

Grupo II (Rosados): las plantas de este grupo son generalmente erectas con hojas de ancho intermedio y de color verde intenso. Presentan periodo de latencia corto y ciclo medio, con necesidad moderada 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 latencia media y ciclo medio–largo (hasta 190 días) con requerimientos de frío mediano a alto y fotoperiodo largo. Los bulbos son de grandes a muy grandes, generalmente irregulares, con hojas envolventes de color blanco. Son ejemplos de este grupo las variedades Probajío 1, 2 y 3.

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 latencia y ciclo largo con requerimientos altos 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 (Heredia, 2000).

#### **2.4.4 Crecimiento y bulbificación del ajo**

Portela y Cavagnaro (2005) mencionan que desde el momento de la plantación y hasta la cosecha del bulbo de ajo blanco y violeta completamente formado, se pueden identificar cinco etapas de desarrollo:

1. Brotación, se inicia con la plantación de un bulbillo “despierto” y culmina con la emergencia de la hoja de brotación sobre la superficie del suelo.
2. Crecimiento vegetativo inicial, se trata de una etapa de un ritmo bajo de acumulación de materia seca y se lleva a cabo la expansión de las hojas preformadas a partir de la removilización de reservas desde el bulbillo.
3. Rápido crecimiento vegetativo, se trata de una etapa de crecimiento muy activo de la parte aérea y se lleva a cabo durante el alargamiento de los días y las temperaturas en ascenso; es una etapa importante, porque al comienzo de la misma tendrá lugar el primer paso de la bulbificación (el inicio de las yemas laterales), mientras que a su término ocurre el segundo paso, a partir de allí queda establecida la formación del bulbo.
4. Crecimiento rápido del bulbo, se trata de una etapa de crecimiento muy activo de la porción del bulbo, en la que la planta comienza a “llenar” el bulbo a una tasa máxima.
5. Crecimiento final del bulbo. Se trata de una etapa en donde el ritmo de “llenado” del bulbo disminuye respecto de la etapa anterior, mientras la planta se va acercando al estado de madurez fisiológica o senescencia; va desde el inicio de la senescencia y hasta la muerte de la parte aérea de la planta.

## **2.5 Malformaciones más comunes en ajo**

Los bulbos ideales de ajo deben presentar un perímetro circular, compacto, de forma globosa, con dientes grandes y en número reducido. Sin embargo, frecuentemente se presentan malformaciones que le restan valor comercial. En el mundo se ha reconocido la existencia de dos grupos de malformaciones. En el

primer grupo se encuentran aquellas asociadas con la emisión de la inflorescencia y en el segundo grupo se encuentran aquellas independientes del proceso de elongación del tallo floral. Las malformaciones del primer grupo incluyen las denominadas “ajo pera” y “ajo de dos pisos” y en el segundo grupo se encuentran el “ajo rebrotado”, el “ajo macho” y el “ajo martillo”.

### **2.5.1 Rebrotado**

El rebrote del ajo (escobeteado) es el crecimiento secundario en las yemas laterales previo a la formación de los bulbillos, afectando la calidad de los bulbos debido al deterioro del producto. Las plantas “rebrotadas” producen bulbos irregulares con cuello ensanchado y comúnmente abierto, con un número extremadamente alto de pequeños bulbillos. En los últimos 30 años se han realizado numerosos estudios con el fin de disminuir los problemas de rebrotado el cual aparece en diferentes porcentajes año con año, por ejemplo Macedo en 2006 indica que el porcentaje de escobeteado se reduce linealmente con el aumento del período de déficit de agua ya sea 50, 55, 60 o 65 días después de la siembra.

Resultados preliminares indican que las siembras tempranas, la aplicación de dosis altas de nitrógeno y la siembra a densidades de población bajas, son las causas probables que incrementan el escobeteado en esta especie. Investigaciones hechas recientemente han indicado que someter a las plantas a estrés hídrico antes de la cosecha incrementa la concentración de compuestos inhibidores del crecimiento los cuales podrían estar disminuyendo el rebrote de los dientes de ajo (Portela y Cavagnaro, 2005).

Un fenómeno similar al rebrote de ajo también se ha documentado en las semillas botánicas (Ochi *et al.*, 2013). Generalmente las semillas no germinan mientras están

en el fruto aun cuando éste haya alcanzado su madurez; sin embargo, en algunas especies se ha observado la germinación de las semillas durante el desarrollo de los frutos. Este fenómeno ha recibido diferentes nombres, algunos de ellos son rebrote de semillas, germinación precoz, germinación vivípara, entre otros. Este desorden fisiológico se ha asociado con el exceso de nitrógeno, un suministro inadecuado de potasio o niveles bajos de ácido abscísico (ABA) en los tejidos (Ochi *et al.*, 2013). Al parecer el exceso de fertilización y los diferentes factores ambientales pueden estar alterando el balance hormonal de los tejidos (promotores e inhibidores), lo cual podría estar desencadenando la brotación temprana de los bulbos del ajo y germinación de las semillas.

Las condiciones térmicas antes y luego de la plantación, el largo del día, la disponibilidad de agua y nitrógeno alta, y las plantaciones ralas, son factores involucrados en la expresión del “rebrote” (Portela *et al.*, 1998). Asimismo, se ha determinado que el escobeteado puede estar influenciado por algunos factores de manejo agronómico del cultivo, tales como fecha de siembra, y densidad de población (Reveles y Velásquez, 2010). El escobeteado se presenta en el cultivo del ajo todos los años, en diferente porcentaje, dependiendo de las temperaturas registradas; así, por ejemplo, cuando las temperaturas mínimas de marzo y abril, cuando ha iniciado la formación de los bulbillos o dientes, son más altas de lo normal la incidencia del escobeteado es mayor y viceversa (Macías *et al.*, 2000).

#### 2.5.1.1 Relación del fotoperiodo en el rebrote del ajo

La mayoría de las plantas son sensibles al fotoperiodo, no sólo para el desarrollo generativo, sino también en muchos otros aspectos, tales como la germinación de semillas, la tasa de formación de hojas, longitud de la lámina de la hoja y la



expansión de anchura, la producción de materia seca y su partición (Wu *et al.*, 2004).

Las respuestas más comunes de las plantas por efecto de la duración de día son: la iniciación a floración, reproducción asexual, la formación de órganos de almacenamiento, y el comienzo de la latencia (Taiz y Zeiger, 2010).

El fotoperíodo, al igual que otros estímulos ambientales, regula la respuesta de la planta a través de las señales internas y los cambios en la concentración de hormonas. El fotoperíodo largo es conocido por mejorar los niveles de giberelinas endógenas, con la consiguiente florogénesis (King *et al.*, 2006).

La luz ejerce un papel muy importante en la formación del bulbo bajo su modalidad de fotoperíodo y radiación (Rahim y Forham, 1990). En la fase de inducción, las temperaturas bajas y fotoperíodo corto son condiciones importantes para promover la diferenciación de yemas axilares que permitirá la formación y el crecimiento del bulbo (Burba, 2007).

#### 2.5.1.2 Relación de la humedad en el rebrote del ajo

Las tensiones ambientales provocan una amplia variedad de respuestas de las plantas, que van desde la expresión génica alterada y el metabolismo celular hasta cambios en la tasa de crecimiento y productividad de la planta (Shao *et al.*, 2008).

El ajo es un cultivo muy susceptible a los factores de manejo destacándose entre ellos la disponibilidad hídrica (Lipinski y Gaviola, 2007). La disponibilidad de agua para las plantas de ajo es un factor muy importante para obtener un buen rendimiento (Souza y Casali, 1986).

Investigaciones realizadas por Hanson *et al.* (2003) indican que el volumen de agua aplicado y el método de riego influyen en el rendimiento y en la calidad de la producción de ajo, como consecuencia del régimen de humedad del suelo; sin embargo, los resultados reportados son muy variables debido a diferencias en sistemas productivos, variedades cultivadas, condiciones agroclimáticas y criterios para la aplicación de los riegos.

Una alternativa utilizada por agricultores con el fin de reducir la incidencia de rebrotado, es la suspensión de riego durante el período de bulbificación, causando un déficit de agua. Según Souza *et al.* (2001), una de las primeras respuestas de las plantas a estrés por sequía es el cierre de los estomas, y con esto, hay una reducción de la difusión de CO<sub>2</sub> en el mesófilo, lo que provoca una disminución de la fotosíntesis y la transpiración.

Bermúdez-Zambrano (2004) mencionan que el ácido abscísico (ABA) es la hormona implicada en procesos fisiológicos cuando las plantas están expuestas a algunos tipos de estrés, como la sequía. Cantidades relativamente grandes de ABA se sintetizan rápidamente en las hojas en respuesta al estrés hídrico, cuya función principal está relacionada con la regulación de la apertura y cierre de los estomas.

La mayoría de la síntesis de ABA posiblemente interfiere con el equilibrio hormonal de las plantas, lo que reduce la actividad de las giberelinas y en consecuencia reduce la incidencia de plantas con crecimiento excesivo.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto del fotoperiodo y déficit hídrico en el control del rebrote del ajo.

### **3.2 Objetivos particulares**

- Determinar el efecto de la disminución del fotoperiodo durante el ciclo de cultivo del ajo en la aparición del fenómeno de “rebrote”.
- Determinar el efecto de un estrés hídrico moderado durante la etapa de bulbificación del ajo en la aparición del fenómeno de “rebrote”.

## **IV. HIPÓTESIS**

La disminución en el fotoperiodo durante el ciclo de cultivo del ajo, así como un estrés hídrico moderado durante la etapa de bulbificación, disminuirá substancialmente la incidencia del fenómeno de rebrote.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, ubicado a 19° 28' 4.26" latitud norte y 98° 53' 42.18" longitud oeste, con una altitud de 2,250 msnm. La precipitación media anual es de 550 mm, presenta un clima semiárido (Bc1) de acuerdo con la clasificación de García (2004).

### **5.1 Material vegetal**

Se utilizó la variedad de ajo Tacátzcuaro, la cual presenta adaptabilidad a las condiciones edáficas y climáticas de la zona de estudio. El ajo Tacátzcuaro es una variedad de ajo jaspeado de porte alto cuya altura de planta es de 95 cm aproximadamente, con hojas anchas de color verde alimonado. Los bulbos son de tamaño grande ( $\pm 7.5$  cm de diámetro) correspondiente a la categoría de exportación COLOSAL; produce de 1 a 20 dientes por bulbo con una media de 12.5; su ciclo

vegetativo es de 190 d de la siembra a la cosecha y su rendimiento comercial es de 25 t ha<sup>-1</sup>. (Fundación Produce Guanajuato, 2015).

Los dientes-semilla fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, Bajío Guanajuato). La semilla se seleccionó previamente por tamaño, color (jaspeado) y firmeza. El primer parámetro se obtuvo por medio de cribado con malla de 9 mm y los dos posteriores por selección visual (**Figura 4**).



**Figura 3.** Semilla de ajo de la variedad Tacázcuaro

## **5.2 Establecimiento del cultivo**

Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 0.40 x 0.40 m con capacidad de 12 L, éstas se llenaron con 16 kg de suelo (migajón arenoso), el cual se colectó de una parcela agrícola y se tamizó con una malla de 2 mm de diámetro.

Se sembraron seis semillas (dientes) por maceta, con el fin de homogenizar la brotación, simulando las condiciones de densidad (333,333 p ha<sup>-1</sup>) y profundidad (1.5 a 2 cm) de siembra, tipo de suelo, humedad (60%) y competencia en una unidad de producción (**Figura 4**).



**Figura 4.** Siembra de ajo.

A los 30 días después de la siembra (dds) las plantas se seleccionaron por tamaño (**Figura 5a**) y se trasplantaron en bolsas de polietileno negro de 0.20 m de diámetro (2.0 L), colocando una planta por bolsa (**Figura 5b**). Posteriormente, las plantas se dividieron en dos grupos. Uno de ellos (150 plantas) se utilizó para estudiar el efecto de fotoperiodo y el segundo grupo estuvo conformado de 100 plantas y se utilizó para estudiar el efecto de déficit hídrico.



**Figura 5. a.** Selección de plántulas por tamaño. **b.** Trasplante a macetas

El sustrato utilizado fue una mezcla que contenía: 50% de tezontle y 50% de suelo agrícola; cada componente de la mezcla se tamizó para obtener partículas de 2 mm de diámetro, las macetas se llenaron con 1.9 kg de sustrato (Figura 6).



**Figura 6.** Preparación del sustrato.

Las plantas se mantuvieron en invernadero durante 15 días después del trasplante (ddt) para su aclimatación y posteriormente se sacaron a cielo abierto y se mantuvieron ahí hasta el final del experimento.

### **5.3 Riego**

El riego se realizó con agua corriente cada tercer día y se aplicaron 40 mL de agua por maceta.

### **5.4 Fertilización**

Diez días después del trasplante (ddt) las plantas se fertilizaron con una solución nutritiva calculada en base a la fórmula general de fertilización para el cultivo de ajo (250N-100P- 265K) y dosificada de acuerdo a los requerimientos del cultivo. Se aplicaron 100 mL de solución nutritiva por maceta cada 10 d y la aplicación en porcentaje de N-P-K incrementó como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Aplicación de N-P-K-Ca en porcentaje de acuerdo a los requerimientos del cultivo del ajo (Reveles-Hernández *et al.*, 2009).

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

## 5.5 Condiciones evaluadas

### 5.5.1 Condiciones experimentales evaluadas

Se evaluaron dos condiciones de fotoperiodo y déficit hídrico en experimentos independientes.

#### *Experimento 1. Fotoperiodo*

A las 60 ddt se aplicaron dos tratamientos de fotoperiodo. Fotoperiodo corto (8 h) y fotoperiodo largo (natural, testigo) en donde las plantas estuvieron expuestas en promedio a un fotoperiodo de 11 h. Para proporcionar las condiciones de

fotoperiodo corto (8 h) se elaboraron cajas de cartón de 90 cm de largo x 90 cm de ancho x 100 cm de alto, las cuales se colocaron sobre las plantas seleccionadas en un horario de: 16:00 a 8:00 h.

### *Experimento 2. Déficit hídrico*

A los 120 ddt se inició el tratamiento de déficit hídrico. Este tratamiento consistió en mantener la humedad aprovechable del volumen de suelo utilizado en tres intervalos 20-40, 50-70 y 80-100%. Lo anterior se obtuvo conociendo la cantidad de agua retenida a capacidad de campo (CC) por el suelo y determinando diariamente la evapotranspiración de 10 plantas. El promedio de estas mediciones determinaron la cantidad de agua que se tenía que agregar para mantener la condición de déficit hídrico en cada uno de los tratamientos (20-40, 50-70 y 80-100% de humedad aprovechable). El tratamiento testigo fue el intervalo de 80-100%.

## **5.6 Diseño experimental**

Cada experimento se estableció en un diseño completamente al azar.

**Experimento 1:** se usaron 75 repeticiones por tratamiento.

**Experimento 2:** se usaron 30 repeticiones por tratamiento.

Cada maceta con una planta se consideró como una unidad experimental en ambos experimentos.

Cuando el cultivo llegó a su madurez fisiológica se procedió a la cosecha la cual se hizo manualmente sacando cada planta de la maceta separándolas cada una en bolsas de papel para después evaluarlas.



## 5.7 Variables de estudio

Crecimiento. Se evaluó mediante muestreo no destructivo a los 28 ddt con 5 repeticiones; y muestreo destructivo a los 58 ddt con tres repeticiones, ambos cada 30 d, con un total de cuatro y tres muestreos respectivamente.

1) Altura de planta: se midió la distancia de la base del falso tallo al ápice de la hoja más alta con una regla graduada en cm.

2) Número total de hojas.

Biomasa. Se realizó un total de tres muestreos destructivos con tres repeticiones, iniciando a los 58 ddt, los pesos tanto fresco como seco se determinaron con una balanza granataria marca Precisa modelo XB 2200C.

1) Área foliar: se determinó con un integrador de área foliar, (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska USA, Modelo LI-3100 Área Meter). Para lo anterior cada planta se dividió en parte aérea (hojas) y parte subterránea (bulbo) (**Figura 7**), se desprendieron cada una de las hojas extendiéndose lo más posible para tener una reducción mínima de área, se colocaron en la pantalla de integración de área, el cual funciona con base al registro directo de un monitor el área reflejada en un dispositivo, esta puede irse acumulando hasta obtener el área total con un margen de error de 0.5 cm<sup>2</sup>.



**Figura 7.** Parte aérea y bulbo de ajo.

2) Peso fresco de parte aérea

3) Peso fresco de bulbo

4) Peso seco de parte aérea: las hojas fueron secadas en una estufa modelo L-C OVEN, LAB-LINE durante 72 h a una temperatura de 75-80 °C y posteriormente se procedió a pesarlas.

5) Peso seco de bulbo: los bulbos fueron secados en una estufa modelo L-C OVEN, LAB-LINE durante 288 h a una temperatura de 75-80 °C y posteriormente se procedió a pesarlos.

Variables de cosecha: cuando las hojas entraron a senescencia se realizó la cosecha.

1) Porcentaje de rebrote. Se contabilizaron las plantas que presentaron germinación temprana de los bulbillos al momento de la cosecha.

## **5.8 Análisis de datos**

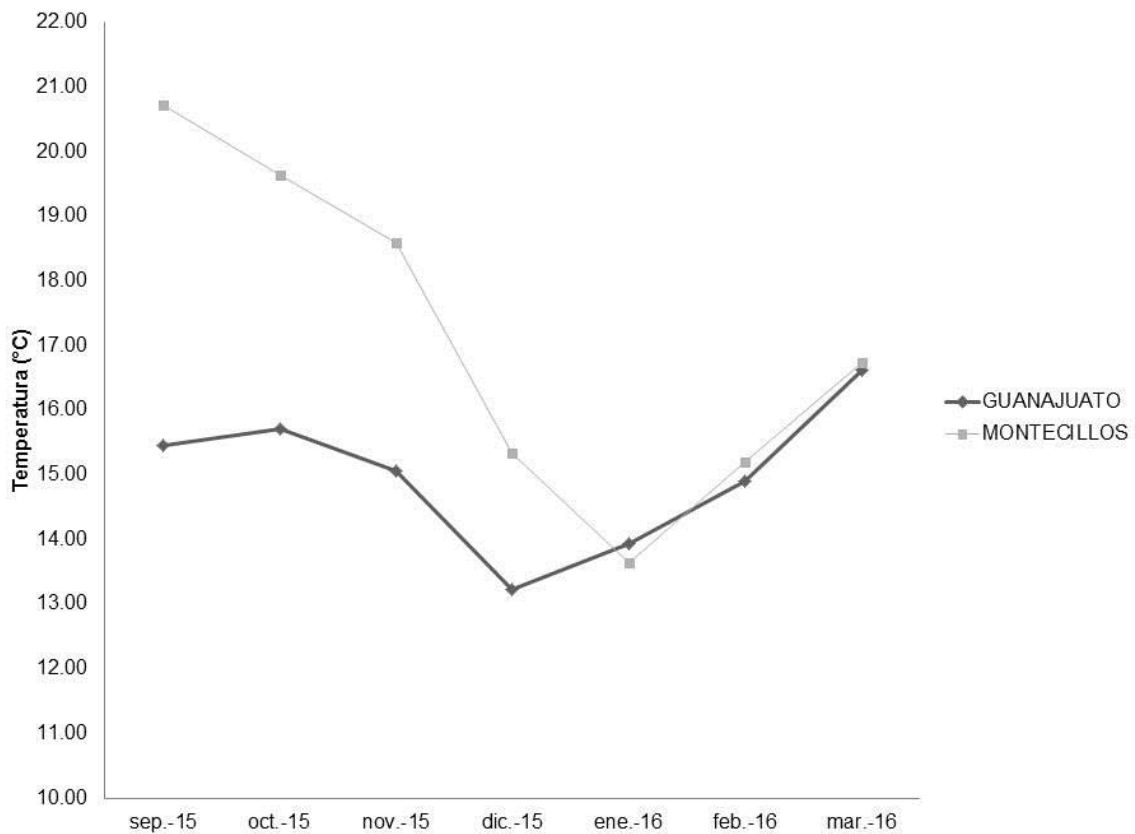
Los resultados de las variables evaluadas se analizaron con el programa SAS (Statistical Analysis System) 9.0, mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias, t-Student con un  $\alpha=0.05$  y Tukey con un  $\alpha=0.05$ .

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1 Temperatura**

En la **figura 8** se presentan las temperaturas medias registradas a lo largo del cultivo en la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados (CP), Campus Montecillo (lugar donde se estableció el experimento) y las temperaturas medias registradas en la estación meteorológica del INIFAP del Bajío Guanajuatense (lugar de origen del material vegetal).

Las temperaturas medias más altas se presentaron en el Campus Montecillo del CP, siendo esta de 21 °C al inicio del ciclo del cultivo, las temperaturas medias mínimas registradas fueron parecidas en ambas estaciones al final del ciclo del cultivo.



**Figura 8.** Temperaturas medias registradas en la estación meteorológica del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados e INIFAP del Bajío Guanajuatense.

En el presente trabajo se evaluaron condiciones diferentes de fotoperiodo así como de humedad en el suelo para observar el comportamiento de las plantas de ajo, es probable que el factor más importante aunado a lo anteriormente dicho sea la temperatura ya que de esta dependen las etapas críticas del cultivo de ajo.

Dado que el tema central de este trabajo es el “rebrote” del ajo y de acuerdo con Brewster (1997) y Burba (2007) quienes llegaron a la conclusión de que el “rebrote” es un síntoma de excesiva inducción por frío antes de la plantación, debido al almacenamiento prolongado de las “semillas” a temperaturas bajas; es importante

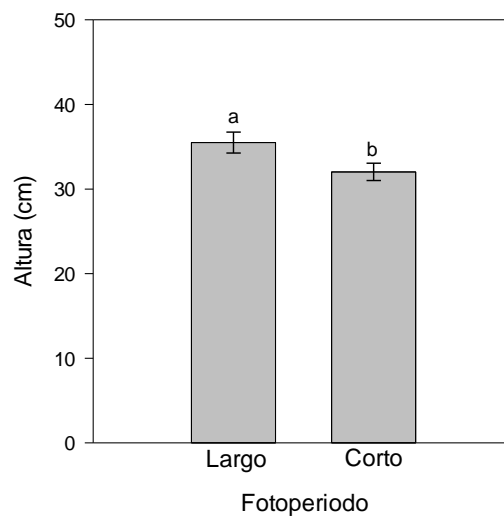
señalar que la semilla fue tratada con frío durante 30 días a 5 °C. 6.2 Efecto del fotoperiodo en el cultivo del ajo (*Allium sativum* L.).

### **6.2.1 Variables de crecimiento**

#### 6.2.1.1 Altura de la planta

La altura total de la planta presentó diferencias significativas por el efecto del fotoperiodo. En la **figura 9** se puede observar que la longitud mayor de planta se obtuvo en el fotoperiodo largo (35.49 cm). Las plantas crecidas en fotoperiodo corto presentaron una reducción del 9% respecto a la longitud del tratamiento de fotoperiodo largo. El crecimiento y desarrollo son modulados por señales ambientales, siendo la temperatura y el fotoperiodo los principales factores ambientales que impulsan el desarrollo de la planta (Wu *et al.*, 2016)

El efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de las plantas va a depender de la especie de estudio. Kamenetsky *et al.* (2004) expusieron plantas de ajo # 2091 (variedades introducidas en Israel procedentes de Rusia) a distintas temperaturas y fotoperiodos y demostraron que fotoperiodos largos (10 h de luz de día seguido de 10 h de luz incandescente) inducen el alargamiento de los tallos. El fotoperiodo, al igual que otros estímulos ambientales, regula la respuesta de la planta a través de las señales internas y cambios en el perfil de hormonas, el fotoperiodo largo incrementa los niveles de giberelinas en las plantas (King *et al.*, 2006). Con base en lo anterior se puede inferir que el fotoperiodo largo es causante de alargamiento del tallo en las plantas de ajo, lo cual hace a este cultivo susceptible a cambios en la duración de la luz del día.

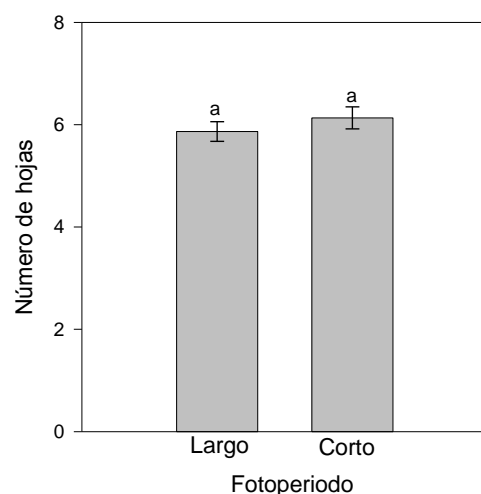


**Figura 9.** Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) en la altura de plantas de ajo var. Tacázcuaro. Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (t-Student con un  $\alpha=0.05$ ).

#### 6.2.1.2 Número de hojas

El número de hojas promedio por planta no presentó diferencias estadísticas significativas por el efecto del fotoperiodo (**Figura 10**), es decir, la cantidad de hojas de las plantas no se vio afectada por la cantidad de horas luz; el número de hojas está determinado genéticamente (Hata *et al.*, 2010). Por ejemplo, experimentos hechos en plantas de sésamo (*Sesamum indicum*) demuestran que plantas tratadas con fotoperíodos cortos, disminuyen el área de la hoja, debido a la transición de fase de crecimiento vegetativo al reproductivo, lo que resulta en la reducción del crecimiento de la hoja (Hata *et al.*, 2010). El área de hojas de la planta es función del número de hojas y del tamaño final de las mismas

En condiciones de campo, el ajo generalmente produce 10-12 hojas visibles por planta y alcanza una altura de 75-90 cm.



**Figura 10.** Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre número de hojas de plantas de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (t-Student con un  $\alpha=0.05$ ).

#### 6.2.1.3 Diámetro del bulbo y número de dientes

El diámetro del bulbo y número de dientes no presentaron diferencias estadísticas significativas por el efecto del fotoperiodo (**Figura 11**). El ajo produce bulbos pequeños en regiones tropicales, de día corto, pero en las zonas templadas, donde los días son más largos y los inviernos son fríos, se produce la inducción floral y la diferenciación que es el número de dientes que tendrán los bulbos, a menudo es seguido por la elongación del tallo (Brewster, 2008). El diámetro del bulbo va a depender del número de dientes que tenga el bulbo entre más dientes presente el bulbo el diámetro será mayor y viceversa.

Antes de la formación del bulbo, la planta necesita alcanzar un crecimiento adecuado, de modo que el follaje es directamente proporcional a la producción de bulbos y rendimiento (Mahmud, 2008).

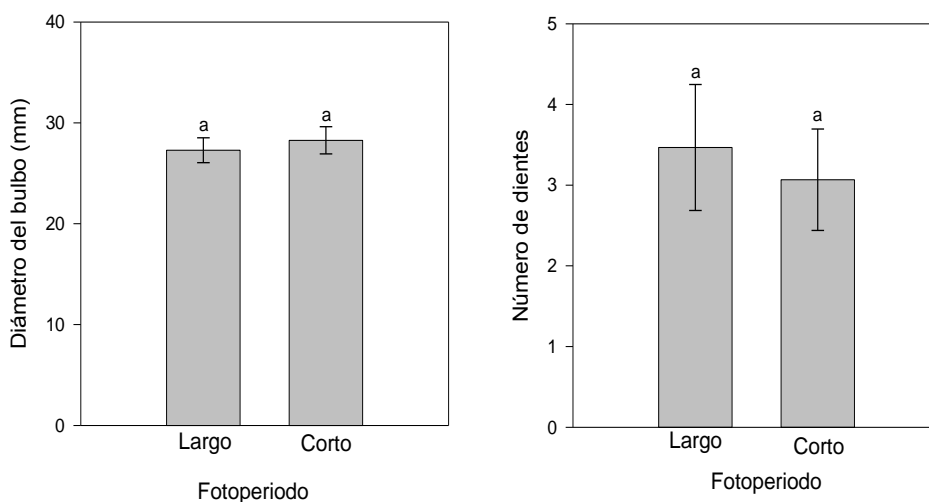
En el ajo, la formación de bulbos es un proceso de dos etapas: en primer lugar, las yemas axilares se forman en las hojas más jóvenes; a continuación, las yemas se

convierten en brotes, los cuales se transforman en dientes formando el bulbo. Cada diente se compone de una hoja de protección y una hoja de almacenamiento de espesor, que contiene la mayor parte de las reservas del bulbillo (Brewster, 2008).

Experimentos hechos por Guevara-Figueroa *et al.* (2015) confirman lo reportado por Burba (2007), quién encontró que las temperaturas bajas y fotoperiodos cortos al inicio del desarrollo, seguido de temperaturas altas y fotoperiodos largos al final del ciclo del cultivo son importantes para una buena formación de los bulbos.

Kamenetsky *et al.* (2004) demostraron que la temperatura (20 °C) y el fotoperiodo (10 h de luz de día y 10 h de luz incandescente), afectaron en gran medida la morfología de ajo y desarrollo de la planta, así como el alargamiento de la hoja, la formación del bulbo, y la inducción de la latencia, lo que indica que el efecto regulador del ambiente es determinante; sin embargo, solo actúa en ciertas variedades. Las condiciones experimentales del presente trabajo demostraron que el fotoperiodo no influyó en el tamaño del bulbo y el número de dientes, por lo menos, no para la variedad Tacátzcuaro, lo cual podría interpretarse como una adaptación y respuesta positiva a las condiciones ambientales en las que se establecieron los experimentos (oriente del Estado de México).





**Figura 11.** Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre el diámetro del bulbo y número de dientes en plantas de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (t-Student con un  $\alpha=0.05$ ).

## 6.2.2 Variables de biomasa

### 6.2.2.1 Peso fresco y seco de hojas y bulbo

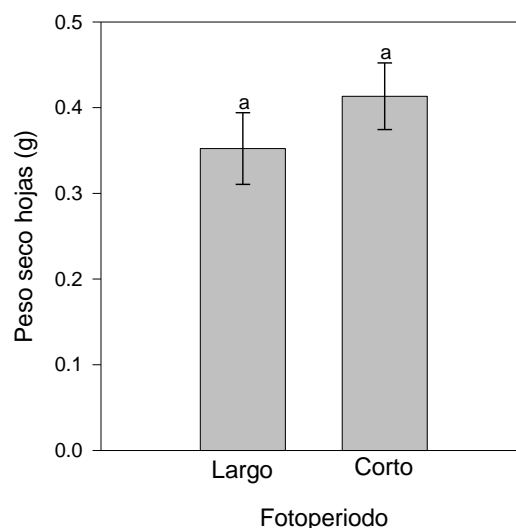
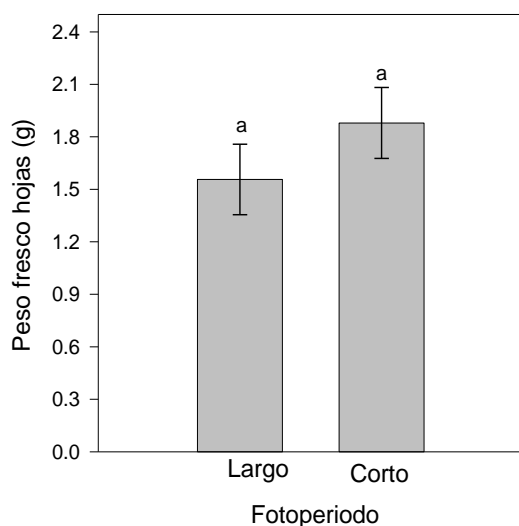
El peso fresco y seco de las hojas no presentó diferencias estadísticas significativas por el efecto del fotoperiodo (Figura 12).

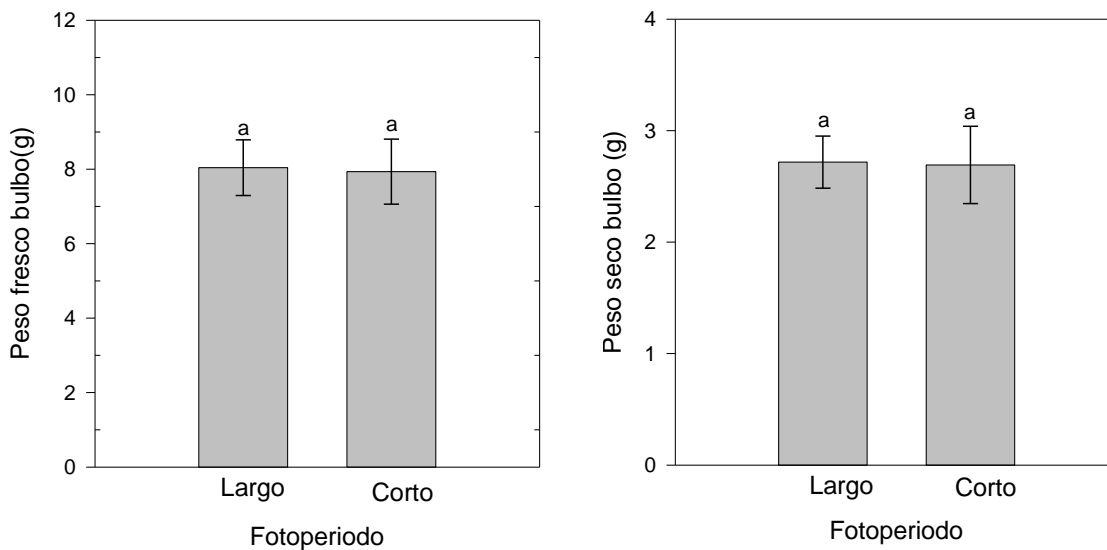
El peso fresco de hojas estuvo entre 1.56 g a 1.88 g; en el tratamiento de fotoperiodo largo se registró peso fresco de hojas de 0.60 g y el peso fresco del bulbo en el fotoperiodo largo fue de 8.04 g, y en el corto de 7.94 g.

El peso seco de hojas en el tratamiento con fotoperiodo corto fue de 0.41 g, mientras que en el tratamiento con fotoperiodo largo se registró un peso seco de hojas de 0.35 g; en el tratamiento de fotoperiodo largo se registró peso fresco de hojas de 0.17 g. El peso seco de bulbo fue de 2.72 g y 2.69 g para aquellas plantas que crecieron en fotoperiodo largo y corto, respectivamente. En el cultivo de papa

Tyagi *et al.* (2013) demostraron que la asimilación de materia seca y su distribución dentro de la planta, son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo. El estudio de los patrones de asignación de materia seca hacia las diferentes partes de la planta, la variabilidad de estos patrones entre cultivares y el efecto de las condiciones ambientales en el proceso, pueden ayudar a maximizar la productividad y a seleccionar cultivares para un propósito particular, aun cuando la papa posee una amplia adaptabilidad a condiciones agroecológicas distintas.

Experimentos en papa llevados a cabo por Jerez *et al.* (2015) demostraron que las temperaturas y el fotoperiodo son de los principales elementos del clima que influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, aunque la acumulación de materia seca y fresca se la atribuyen directamente al genotipo empleado. En el caso del cultivo de ajo pasa algo similar, el contenido de biomasa fue similar en las dos condiciones de luz estudiadas (fotoperiodo corto y fotoperiodo largo), por lo que se puede decir que la cantidad de biomasa no es directamente afectada por este factor.





**Figura 12.** Efecto del fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre peso fresco de las hojas y bulbo de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas (t-Student con un  $\alpha=0.05$ ).

#### 6.2.2.2 Porcentaje de ajos rebrotados

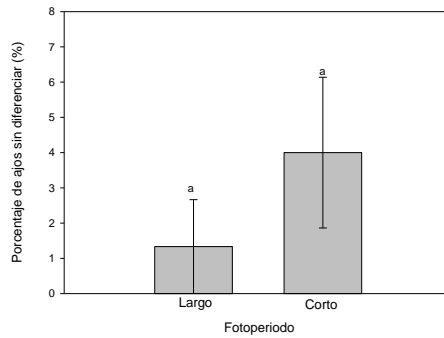
En el presente experimento no se presentó el fenómeno denominado “rebrote” pero si se presentó la malformación conocida como acebollado o ajos sin diferenciar en bajo porcentaje (3-6%). El número de ajos no diferenciados no presentó diferencias estadísticas significativas por el efecto del fotoperiodo (**Figura 13**).

Guevara-Figueroa *et al.* (2015) demostraron que las etapas ontogenéticas del ajo incluyen una etapa inductiva y una morfogénica. En la fase inductiva, las temperaturas bajas (4 °C) y fotoperiodo corto (8 h) son condiciones importantes para promover la diferenciación de yemas axilares que permitirá la formación y el crecimiento del bulbo. Según Burba (2007) la etapa morfogénica requiere temperaturas altas y fotoperíodos más largos, condiciones que favorecen la fotosíntesis, transporte de fotosintatos y formación de dientes. Cuando no se

cumplen los requisitos de las etapas ontogenéticas del ajo, hay una incidencia alta de bulbos indiferenciados y rebrotados. De acuerdo con Guevara-Figueroa *et al.* (2015) si no se cumplen estos requisitos no se pueden obtener los bulbos de calidad que exige el mercado, entendiendo por “calidad” bulbos de buen tamaño y sin malformaciones tales como bulbos sin diferenciar “acebollados” o bulbos “rebrotados”.

Mahmud (2008) encontró que el aumento del fotoperiodo promovió la formación de bulbos en plantas de cebolla, mientras que en fotoperiodo corto (8 h) las plantas no produjeron bulbos, incluso después de 60 días de crecimiento. Asimismo, el tiempo para la formación del bulbo disminuyó linealmente al aumentar la temperatura y las horas de luz.

Estudios hechos por Macías *et al.* (2005) en la variedad de ajo Chino blanco mostraron que aún y cuando presentó un mayor peso de bulbo que las variedades moradas regionales en Sonora, su rendimiento fue menor, debido a que esta variedad presentó problemas de adaptación a las condiciones climáticas de la región, manifestando malformaciones fisiológicas como la presencia de bulbos acebollados y escobeteados, lo cual se ocasiona cuando las temperaturas mínimas durante los meses de marzo y abril, etapa del cultivo donde se da el crecimiento de bulbo, son altas (mayores a 30 °C).



**Figura 13.** Efecto de fotoperiodo largo (11 h) y fotoperiodo corto (8 h) sobre el porcentaje de ajos no diferenciados (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (t-Student con un  $\alpha=0.05$ ).

Probablemente en la presente investigación el acebollado se presentó debido a las temperaturas altas (37 °C) que se presentaron al inicio del cultivo. En el presente experimento las plantas se sometieron a dos fotoperiodos, suponemos que el fotoperiodo largo es un factor importante para que el fenómeno del “rebrote” no se haya presentado en este experimento, aunado a las condiciones ambientales que se presentan en el Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados (temperatura y humedad principalmente).

### 6.3 Efecto del déficit hídrico del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.).

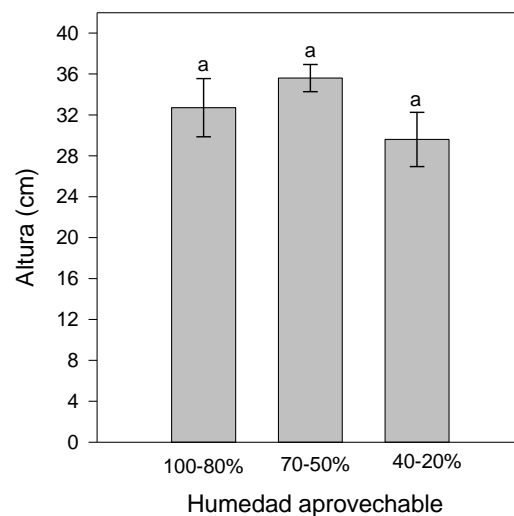
#### 6.3.1 Variables de crecimiento

##### 6.3.1.1 Altura de la planta

La altura de la planta no presentó diferencias estadísticas significativas por el efecto del déficit hídrico (**figura 14**); no obstante, hubo diferencias numéricas en la altura de las plantas tratadas con el 40-20% de humedad. De acuerdo con Karthikeyan *et al.* (2007) el crecimiento es uno de los procesos fisiológicos más sensibles a la

sequía debido principalmente a la reducción de la presión de turgencia de los tejidos.

La intensidad y duración del estrés hídrico influye en su efecto y la capacidad de las plantas para resistirlo (Garau *et al.*, 2009); entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Singh y Singh, 2006), los cambios en el comportamiento de las plantas en respuesta al déficit hídrico se producen por la duración y severidad del estrés, la etapa de desarrollo, el genotipo y antecedentes de estrés. Experimentos hechos por Díaz *et al.* (2014) en plantas de papaya sometidas a estrés hídrico (21 día de supresión de riego), mostraron que el cultivo se vio afectado en su altura, indicando la incapacidad de la planta de reponerse en esta variable aun cuando se les recuperó la humedad a capacidad de campo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con lo antes mencionado ya que la planta de ajo cuando es sometida a un estrés hídrico mayor (humedad aprovechable del 40-20%) presentó una tendencia a retrasar su crecimiento, aunque estadísticamente no se observaron estas diferencias.



**Figura 14.** Efecto de tres niveles de humedad aprovechable en el suelo sobre la altura de las plantas de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey con un  $\alpha=0.05$ ).

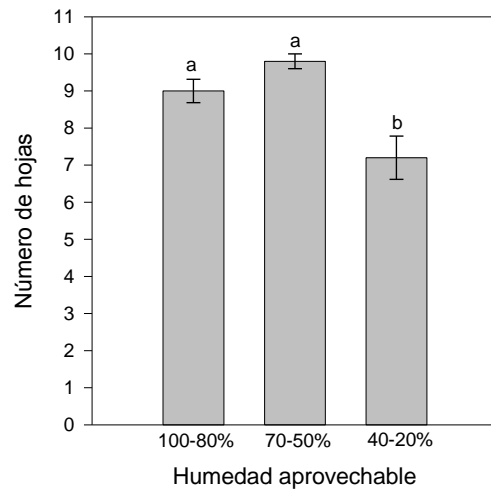
#### 6.2.1.2 Número de hojas

Se observaron diferencias estadísticas significativa por efecto del déficit hídrico, obteniendo un promedio de 9.8 hojas en el tratamiento con 70-50% de humedad aprovechable; mientras que con una humedad aprovechable menor (40-20%) se obtuvo un promedio de 7.2 hojas (**Figura 15**).

Reyes-Matamoros (2014) indican que someter las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a niveles de humedad aprovechable de 75 y 50%, reduce gradualmente la producción de hojas.

En condiciones de déficit hídrico se presenta modificación de la relación raíz/parte aérea, abscisión de hojas y frutos, cierre estomático, reducción en el intercambio gaseoso, entre otros. A nivel de cultivo, el déficit hídrico genera reducción en el crecimiento y productividad (Sermet *et al.*, 2005).

La reducción en el número de hojas en las plantas de ajo cuando el déficit hídrico fue severo, demuestra que la variedad Tacázcuro de ajo es susceptible a condiciones severas de sequía.



**Figura 15.** Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el número de hojas de las plantas de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey con un  $\alpha=0.05$ ).

#### 6.3.1.3 Diámetro del bulbo y número de dientes

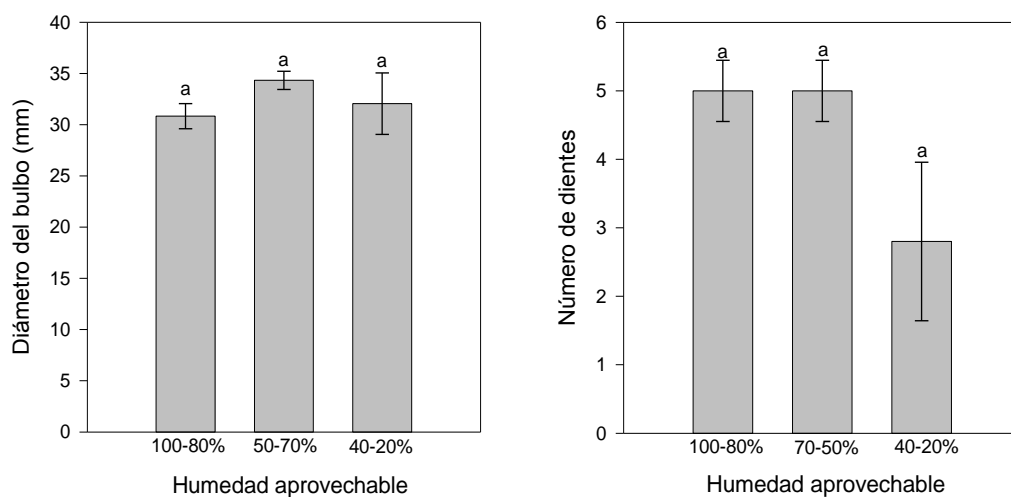
El diámetro del bulbo y número de dientes no presentaron diferencia estadística significativa por efecto del déficit hídrico. En la **figura 16** se observa que en el tratamiento de 70-50% de humedad aprovechable se obtuvo en promedio 6.50 dientes; en tanto que en el tratamiento de 40-20% de humedad aprovechable se obtuvieron 5.19 de dientes.

Heredia y Delgadillo (2000) mencionan que si en la etapa vegetativa las plantas de ajo no son regadas, se acelera la diferenciación de los dientes y por ende se produce mayor número de dientes; mientras que en la etapa de formación de bulbos, causa reducción del peso promedio de los bulbos, del tamaño del bulbo, número menor de dientes y de capas que envuelven al bulbo.

El papel de las hormonas en la liberación de la latencia y la formación de los bulbillos de ajo se ha demostrado (Rohkim *et al.*, 2015). Se sugiere que el ácido abscísico juega un papel importante en todo el proceso de formación de bulbo.



Giberelinas y ácido abscísico se han asociado con la regulación de la temperatura en la inducción de la latencia *in vitro* (Kamenetsky y Okubo 2012). Se sugiere que cuando las plantas son sometidas a algún estrés, en este caso estrés hídrico, el nivel de hormonas endógeno se altera, en el presente trabajo se hipotetizó que cuando las plantas de ajo se sometieran 40-20% de humedad aprovechable el porcentaje de rebrote disminuiría, por un probable incremento en los niveles de ácido abscísico y una reducción en los niveles de giberelinas; indirectamente el crecimiento de los bulbos así como la formación de los dientes se modificaría.



**Figura 16.** Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el diámetro del bulbo y número de dientes de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey con un  $\alpha=0.05$ ).

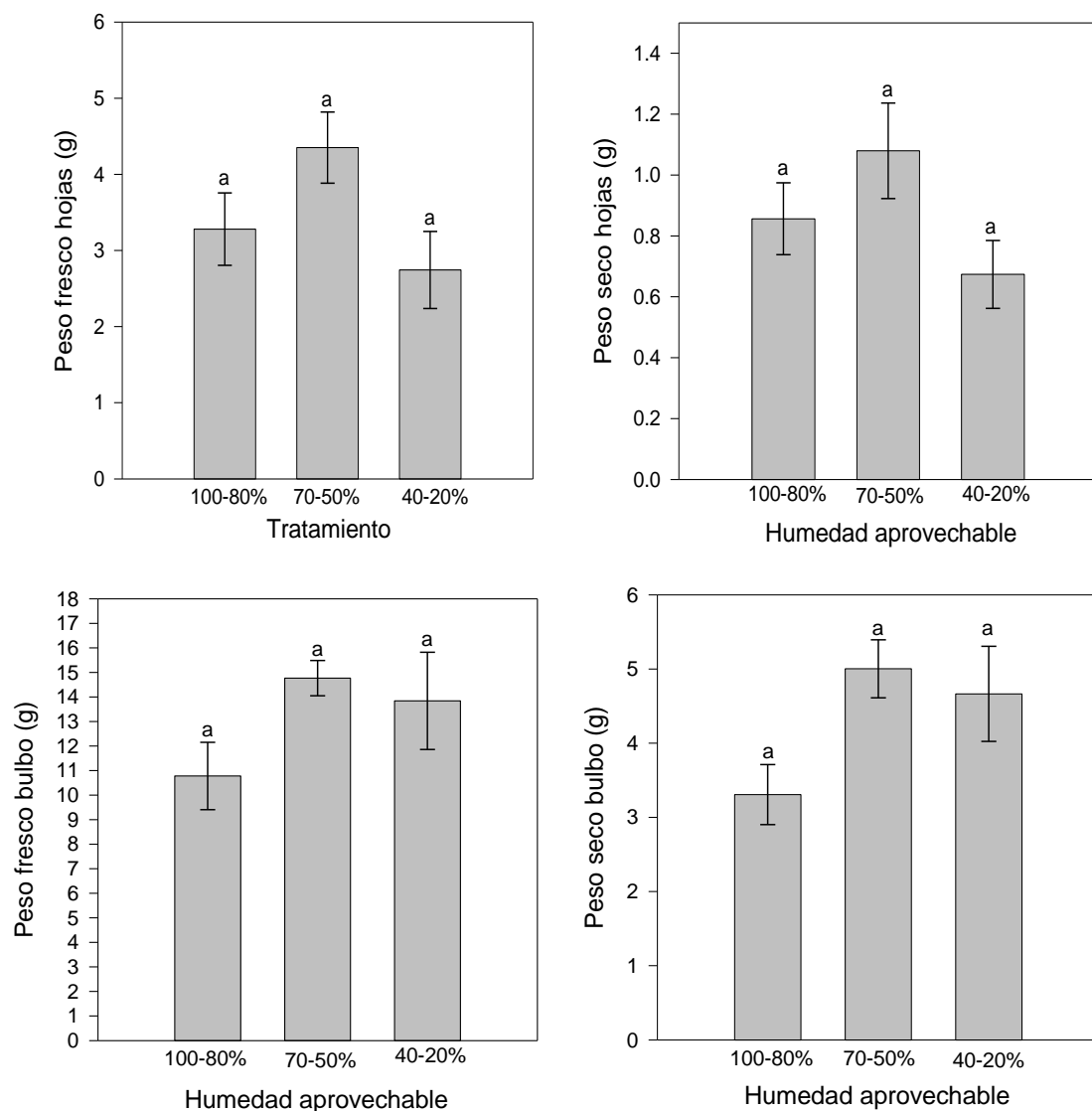
## 6.3.2 Variables de biomasa

### 6.3.2.1 Peso fresco de hojas y bulbo

El peso fresco y seco de las hojas, del falso tallo y del bulbo por el efecto del déficit hídrico, no presentaron diferencias estadísticas significativas (figura 17).

El potencial de producción de biomasa y el rendimiento de diversas plantas depende del mantenimiento de un estado fisiológico adecuado. Una disminución de la materia seca total puede ser debido a la considerable disminución en el crecimiento de la planta, la fotosíntesis y estructura de la cubierta. Estudios hechos en plantas de girasol por Soriano *et al.* (2004) indican que la biomasa seca disminuyó debido a que se presentó senescencia de las hojas durante el estrés hídrico.

Las plantas responden al estrés hídrico desarrollando adaptaciones evolutivas tanto a nivel morfológico, anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico. Parámetros morfológicos como peso fresco y seco tienen un profundo efecto en las condiciones de limitación de agua, estudios hechos por Florido y Bao (2014) en tomate han demostrado una disminución de la materia fresca y seca de la planta y del porcentaje de fructificación conjuntamente con el potencial hídrico de la hoja y el uso eficiente de agua, asociados con incrementos en la temperatura de la hoja y la resistencia estomática. En general la mayoría de las plantas tienden a disminuir su biomasa cuando son sometidas a estrés hídrico, las plantas de ajo son susceptibles al déficit hídrico entre más severo sea este, el peso fresco y seco se verán afectados.



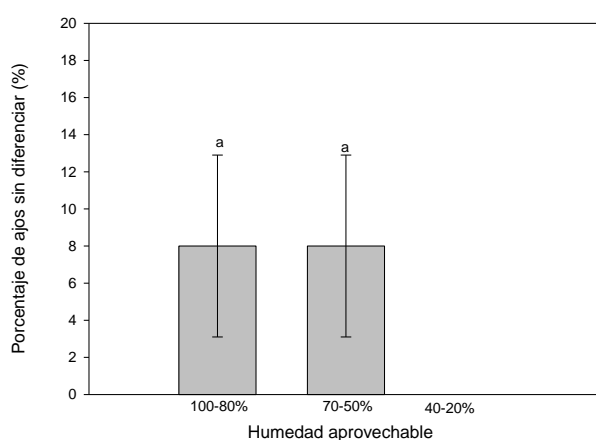
**Figura 17.** Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el peso fresco de las hojas y bulbo de plantas de ajo (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey con un  $\alpha = 0.05$ ).

### 6.3.2.2 Porcentaje de ajos no diferenciados

En el presente experimento al igual que el de fotoperiodo no se presentó el fenómeno denominado “rebrote” pero si hubo ajos sin diferenciar.

El número de ajos no diferenciados por efecto del déficit hídrico, no presentó diferencias estadísticas significativas. En la **figura 18** se puede observar que mientras el promedio mayor de ajos no diferenciados se obtuvieron en el tratamiento testigo e intermedio de humedad aprovechable (100-80 y 70-50% respectivamente), mientras que los bulbos del tratamiento con déficit de humedad mayor (40-20% de humedad aprovechable) no presentaron malformaciones.

Según Yuan *et al.* (2003) el déficit hídrico afecta la duración de los estados fenológicos de las plantas, reduce el crecimiento, el número de frutos por planta, el tamaño y la calidad de estos. Cuando hablamos de calidad en el cultivo del ajo entendemos que el bulbo no debe de presentar alguna malformación (ajos rebrotados, acebollados, ajo pera, ajo martillo, entre otros).



**Figura 18.** Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el porcentaje de ajos no diferenciados (*Allium sativum* L.). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones  $\pm$  el error estándar. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas (Tukey con un  $\alpha=0.05$ ).

Una alternativa utilizada por los productores de ajo con el fin de reducir la incidencia de ajos rebrotados, es la suspensión de riego durante el período de bulbificación, causando un déficit de agua. Souza *et al.* (2001) señalan que una de las primeras respuestas de las plantas a estrés por sequía es el cierre de los estomas, y una reducción de la difusión de CO<sub>2</sub> en el mesófilo, lo que provoca disminución en la fotosíntesis. Bermúdez-Zambrano (2004) mencionan que el ácido abscísico (ABA) es la hormona implicada en inhibir procesos fisiológicos cuando las plantas están expuestas a algunos tipos de estrés, como la sequía.

Es ampliamente aceptado que el ABA es una molécula señal que actúa como mediador en las cascadas de señalización para evitar la deshidratación de las plantas sometidas a sequía y otros estreses. Las bases moleculares que explican las respuestas de las plantas a sequía indican que el ABA desempeña un importante papel en las respuestas a estrés, incluido el déficit hídrico (Danquah *et al.*, 2014). Los efectos del déficit hídrico en relación con el ácido abscísico sobre la fisiología de las plantas varían en función de la especie y de su grado de tolerancia, pero también, en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con que se experimente su carencia. Una baja disponibilidad hídrica durante el llenado del bulbo causó la reducción en su tamaño (Estrada-Prado *et al.*, 2015).

Burba (2005) determinó que en condiciones de disponibilidad alta de nitrógeno y de agua, la proporción de plantas “rebrotadas” también aumenta, y lo mismo sucede con densidades bajas de plantación. Estos resultados hacen suponer que el grado de rebrote es causado por una combinación de estos factores, además de las características genéticas de cada material.

Assuero *et al.* (2007) demostraron que las restricciones hídricas durante el llenado de los bulbos ocasionan reducción en el rendimiento; una restricción hídrica

moderada en el cultivo de cebolla, adelanta el inicio de la bulbificación y por ende el ciclo de cultivo, lo que resulta beneficioso. Sin embargo, los rendimientos y calidad disminuyen cuando la deficiencia hídrica coincide con el “período crítico” al inicio de la formación de bulbos.

En el presente trabajo se trató de disminuir la incidencia del fenómeno de “rebrote”, sin embargo éste no se presentó en ninguno de los regímenes hídricos estudiados. De acuerdo con Portela (1998) el grado de expresión del “rebrote” podría ser empleado en cualquier lugar como un indicador de la adaptación del genotipo al ambiente, pudiendo resultar de importancia práctica al momento de establecer zonas de producción y épocas de plantación más aptas para cada cultivar. Con base en nuestros resultados podemos decir que la variedad Tacázcuaró presenta una adaptabilidad alta a las condiciones ambientales de esta región del oriente del Estado de México.

La temperatura (25 °C), el fotoperíodo largo y el déficit hídrico aplicado en la etapa de diferenciación del bulbo, así como las buenas labores culturales (riego, fertilización, etc.) son los principales factores involucrados en el “rebrote” del ajo. Debido a que en el presente trabajo no se presentó el fenómeno conocido como “rebrote”, sería importante darle continuidad al estudio para corroborar la adaptabilidad del genotipo de ajo “Tacazcuaro” a las condiciones ambientales del oriente del estado de México.

Las plantas sometidas 100-80 y 70-50% de humedad aprovechable en el suelo presentaron ajos sin diferenciar (acebollado).

## **VII. CONCLUSIÓN**

No se observó rebrote en ninguna de las dos condiciones experimentales (fotoperiodo y déficit hídrico) estudiadas en esta investigación, en la variedad de ajo Tacázcuaró.

Las plantas sometidas 100-80 y 70-50% de humedad aprovechable en el suelo presentaron ajos sin diferenciar (acebollado).

Sólo la altura de planta fue afectada significativamente por las condiciones experimentales probadas en la presente investigación

## VIII. LITERATURA CITADA

**Acosta-Rodríguez, G. F., Lujan-Favela, M., Parra-Quezada, R. A. (2008).**

Crecimiento y rendimiento de cultivares de ajo en Delicias, Chihuahua, México.

Agricultura Técnica México. 34(2):177-188.

**Alvarado, P. A. (2000).** Monitoreo de la producción y comercio de ajo y cebolla en

chile. Programa de Reconversión y Desarrollo de la granja. Santiago, Chile.

48p.

**Assuero, S.G., J. Rattin, J.A. Saluzzo, G. Sasso, y J.A. Tognetti. (2007).**

Observaciones sobre la producción y conservación de cebolla en el sudeste de

Buenos Aires en relación con la disponibilidad hídrica. Revista Facultad

Agronomía. 106(2):109-118.

**Benacchio, S.S. (1982).** Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de

cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP Centro

Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría.

Maracay, Venezuela. 202p.

**Bermúdez-Zambrano, O.D. (2004).** Sinalização entre os sistemas radiculares e

caulinares em genótipos contrastantes de *Lycopersicon* sob estresse por

deficiência hídrica. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura

Luiz de Queiroz, Piracicaba. p. 33.

**Bernier, G., y Périlleux, C. (2005).** A physiological overview of the genetics of

flowering time control. *Plant Biotechnology Journal*. 3, 3-16.??

**Bolaños, J., and Edmeades, G.O. (1993).** Eight cycles of selection for drought

tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior.

*Field Crops Research*. 31, 253–272.??

**Brewster, J.L. (1994).** Onion and other vegetable alliums. Cambridge, CAB.

Capitulos 3 y 5 pp. 236



- Brewster, J.L.** (2008). Onions and Other Vegetable Alliums (2nd edition) CAB International, Wallingford, UK. 432 p.
- Bull, L.T.; Bertani, R.M. de A.; Villas B., R.L.; Fernandes, D.M.** (2002). Produção de bulbos e incidência de pseudoperfilhamento na cultura do alho vernalizado em função de adubações potássicas e nitrogenadas. *Bragantia*, 61, 247-25.??
- Burba, J.L.** (2003). Producción de ajo. La Consulta. Mendoza, Argentina. 48p.
- Burba, J.L.** (2007). Manejo de Semilla de ajo Frigoinducida. Proyecto Ajo INTA 088. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental La Consulta, Argentina. 13 p.
- Busk, P.K., Jensen A.B. y Pagés, M.** (1998). Regulatory elements in vivo in the promoter of the abscisic acid responsive gene rab17 from maize. *Plant Journal*. 11, 1285-1295.??
- Cortés, A., Austria, M., & López, V. T.** (2004). El Agua en México, una visión institucional. El Agua en México, Vista desde la Academia. EL Jiménez and I. Marín. México, DF, Academia Mexicana de Ciencias.
- Danquah, A., Zelicourt, A., Colcombet, J., Hirt, H.** (2014). The role of ABA and MAPK signaling pathways in plant abiotic stress responses. *Biotechnology Advances*. 32(1): 40-52.???????
- Devlin, P. F., Christie, J. M. and Terry, M. J.** (2007). Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany*. 58, 3071-3077.???
- Díaz, H. Y., Torres, de la N. W., Rodríguez, C. J. y Rodríguez H. P.** (2014). Respuesta de plantas de papaya silvestre (*Carica cubensis* Solms) al estrés hídrico y su recuperación: aspectos fisiológicos y del crecimiento. *Cultivos Tropicales*. 35(3):55-61.???

- Dueck, T., Trouwborst, G., Hogewoning, S.W., Meinen, E.** (2016). Can a high red: far red ratio replace temperature-induced inflorescence development in *Phalaenopsis*? *Environmental and Experimental Botany*. 12,139–144.
- Duque-Escobar, G.** (2016). Espectro electromagnético. Red de Astronomía de Colombia RAC. Obtenido de: <https://godues.wordpress.com/2016/02/08/el-camino-a-las-estrellas/>.
- Estrada-Prado, W., Lescay-Batista, E., Álvarez-Fonseca, A., Maceo-Ramos, Y. C.** (2015). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agronomía Mesoamericana*. 26(1):111-117.???
- FAOSTAT.** (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Dirección de Estadística. Información obtenida de: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>.
- Florido, B. M. y Bao, F. L.** (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Cultivos Tropicales*, La Habana. 35:(3)70-88.???
- Folta, K.M., Maruhnich, S.A.** (2007). Green light: a signal to slow down or stop. *Environmental and Experimental Botany*. 58, 3099-3111.
- Fukuda, N., Fujitan, M., Ohta, Y., Sase, S., Nishimura, S., Ezura, H.** (2008). Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Scientia Horticulturae*. 115,176-182.????
- Fundación Produce Guanajuato.** (2015). Información de las variedades de ajo producida en el INIFAP- Campo experimental Bajío. <http://www.intranetfpg.com/SIAC/2004/4698/tecnologia%20exitosa/tecnologia%20exitosa.pdf>.
- Garau, A. M., Ghera, C. M., Lemcoff, J. H. and Baraño, J. J.** 2009. Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: Effects of competition on sapling growth and survivorship. *New Forests*. 37:251-264.

- García, A.** (1964). Influência da irrigação no crescimento, produção e superbrotamento do alho (*Allium sativum* L.). Dissertação (Mestrado) - Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 45p.
- García, E.** (2004). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México, D.F. 217p.
- Guevara-Figueroa, T., López-Hernández, L., Lopez, M.G., Dufoo, M.D., Vázquez-Barrios, M.E., Guevara-Olvera, L., Guevara González, R.G., Rivera-Pastrana, D.M., Torres-Robles, H., Mercado-Silva, E.M.** (2015). Conditioning garlic “seed” cloves at low temperature modifies plant growth, sugar, fructan content, and sucrose sucrose fructosyl transferase (1-SST) expression. *Scientia Horticulturae*. 189:150–158.
- Haliapas, S., Yupsanis, T.A., Syros, T.D., Kofidis, G., Economou, A.S.** (2008). *Petunia x hybrida* during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30, 807-815.
- Hanson, B.R., May, D., Voss,R., Cantwell, M., y Rice, R.** (2003). Response of garlic to irrigation water. *Agricultural Water Management*. 58, 29-43.
- Hata, N., Hayashi, Y., Okazawa, A., Ono, E., Satake, H., Kobayashi, A.,** (2010). Comparison of sesamin contents and CYP81Q1 gene expressions in aboveground vegetative organs between two Japanese sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties differing in seed sesamin contents. *Plant Science*.178, 510–516.
- Heredia, G.E. y Delgadillo, S.F.** (2000). El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción. SAGARPA, INIFAP, Campo experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México.102p.
- Hussain, A., Black, C.R., Taylor, I.B., Roberts, J.A.** (2000). Does an antagonistic relationship between ABA and ethylene mediate shoot growth when tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants encounter compacted soil? *Plant, Cell and Environment* 23, 1217–1226.

- INEGI.** (2013). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (Calera, Zacatecas). <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=32>.
- Jerez, M. E., Martín, M. R. y Morales, G. D.** (2015). Comportamiento de la acumulación y distribución de masa seca en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*. 36(4):70-76.
- Jiao, Y., Lau, O.S., Deng, X.W.** (2007). Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nat. Rev Genet*. 8, 217-230.
- Kamenetsky, R.** (2007) Garlic: botany and horticulture. *Horticultural Reviews*. 33:123.
- Kamenetsky, R., Shafir, I.L., Zemah, H., Barzilay, A. and Rabinowitch, H.D.** (2004). Environmental control of garlic growth and florogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 129: 144-151.
- Karthikeyan, B., Jaleel, C.A., Gopi, R. M.** (2007). Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs, *Journal of Zhejiang University-Science*. 8(7): 453–457.
- Kelli, G. K., Barrett-Wilt, G. A., Sussman M. R., Chrispeels M. J.** (2010). In planta changes in protein phosphorylation induced by the plant hormone abscisic acid. *Plant Biology*. 107(36):15986-15999.
- King, R.W., Moritz, T., Evans, L.T., Martin, J., Andersen, C.H., Blundell, C., Kardailsky, I., Chandler, P.M.** (2006). Regulation of flowering in the long-day grass *Lolium temulentum* by gibberellins and the FLOWERING LOCUS T gene. *Plant Physiology*: 141, 498–507.
- Kirkham, M.B.** (2005). Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, Amsterdam, 25(1): 76-88.

- Lipinski, V. M. y Gaviola, S.** (2007). Evaluación de cultivares de ajo (*Allium sativum* L.) blanco bajo déficit controlado de riego. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 38(2): 37-48.
- Lipinski, V. M., Gaviola, S., Portela, J.A.** (2009). Efecto del déficit de riego controlado en diferentes estadios del cultivo sobre el rendimiento de ajos colorados y castaños. Disponible en [http://www.riegoyfertiliriego.com.ar/V\\_Jornadas/Ponencias/Lipinski-2.pdf](http://www.riegoyfertiliriego.com.ar/V_Jornadas/Ponencias/Lipinski-2.pdf)
- López, L. M. T.** (2007). El ajo Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. Offarm Farmacia y Sociedad 26(1):78-81.
- Macías, V. L. M.** (2009). Guía para producir ajo en Aguascalientes. Pabellón de Arteaga Aguascalientes. INIFAP- Fundación Produce. Folleto técnico N° 21. 12p.
- Macías, V. L. M., Robles, E. F. J. y Velásquez, V. R.** (2000). Guía para que los productores de ajo seleccionen su semilla. Folleto para Productores Núm. 27. Campo Experimental Pabellón – INIFAP. Aguascalientes, Ags., México. p.12.
- Mahmud, K. K.** (2008). Effect of temperature and photoperiod on the incidence of bulbing and bolting in seedlings of onion cultivars of diverse origin. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 83(4):488-496.
- Mita, T. y Shibaoka, H.** (1984). Gibberellin stabilizes microtubules in onion leaf sheath cells. Protoplasma 119(1): 100–109.
- Moon, W., Lee, B.Y.** (1980). Influences of short day treatment on the growth and levels of endogenous growth substances in garlic plants (*Allium sativum* L.). Journal of the Korean Society for Horticultural Science. 21,109-113.
- Moreno, F. L. P.** (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía Colombiana 27(2):179-191.
- Nilsen, E.T. y Orcutt, D.M.** (1996). Physiology of plants under stress: Soil and Biotic factors. John Wiley and Sons, New York, USA. 683p.

- Ochi, Y. I., Hohjo, T., Tsukagoshi, M., Johkan, S., Maruo, M., T. and Shinohara, Y.** (2013). Inhibition of Viviparous Sprouting on Melon Seeds Using High Level of Potassium Fertilization or Abscisic Acid Application. Japanese Society for Horticultural Science. 82(3):227-233.
- Olmedo, F. T.** (2003). Curso de producción de ajo. Universidad Arturo Prat. Chile. En: <http://www.unap.cl/> consultada el 9 de junio de 2016.
- Pace, P.F., Cralle, H.T., El-Halawany, S.H.M., Cothren, J.T., Sensaman, S.A.,** (1999). Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. Journal of Cotton Science. 3, 183–187.
- Park, Y.B. and Lee, B.Y.** (1979). Study on the growth and bulb formation of garlic plants (*Allium sativum* L.). I. The effect of day-length on the bulb formation and secondary growth in 6 cloved garlic plants. Journal of the Korean Society for Horticultural Science. 20, 1-4
- Parker, R.** (2000). La ciencia de las plantas. Paraninfo, S. A. Madrid, España. p. 628
- Peña, G. A.** (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 62, 125-137. [????](#)
- Portela, J. A.** (1996). El ambiente como regulador del desarrollo de las plantas. Su efecto sobre el ajo (*Allium sativum* L.). Avances en Horticultura. 1(1):23-24.
- Portela, J. A.** (1998). Factores involucrados en el rebrote del ajo (*Allium sativum* L.) e implicaciones en el manejo del cultivo. Avances en Horticultura. 3, 1-12.
- Portela, J. A. y Cavagnaro J. B.** 2005. Escala ecofisiológica para ajos blancos y violetas: Una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el cultivo. INTA. Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Mendoza, Argentina, pp:95-100.
- Portela, J.A. y Lucero, C.** (2007). Caracterización ecofisiológica de cultivares clonales de ajo. En: X Curso/Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Mendoza, Argentina pp.57-69.

- Portela, J.A., Cavagnaro, J. B.** (2005). Growing phases of the white garlic (*Allium sativum* L.) plant in relation to field temperature and day length. *Acta Horticulturae*. 688, 239-246.
- Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Palme, K.J., y Jansen, M.A.K.** (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Science*. 12(3):99-105.
- Racca, R., Ledesma, A., Reale, M.I. y Collino, D.** (1981). Efecto de bajas temperaturas en almacenaje de preplantación y condiciones termofotoperiódicas del cultivo en la bulbificación de ajo (*Allium sativum* L.) cv. Rosado Paraguayo. *Phyton*. 41, 77-82.
- Rahim, M. A., and Fordham, R.** (1990). Effect of the shade and environmental conditions on the initiation and development of garlic cloves. *Scientia Horticulture*. 45(1):21-30.
- Rajapakse, N.C. and Shahak, Y.** (2007). Light-quality manipulation by horticulture industry. pp. 290-312. In: Whitelam, G.C. and K.J. Halliday (eds.). *Light and plant development*. Blackwell Publishing. Oxford. pp: 313-314.
- Reddy, T.Y., Reddy, V.R., Anbumozhi, V.** 1992. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to drought stress and its amelioration: A critical review. *Plant Growth Regulation*. 41,75–88.
- Reveles, H., M. y Velásquez, V., R.** (2010). Manejo de la Fertilización del Cultivo de Ajo. Memoria 3er. Taller-demostración “Tópicos para la producción intensiva de ajo” Sain Alto, Zac., México, 27 de mayo, pp: 20-30
- Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R., y Bravo-Lozano, A. G.** (2009). Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro Técnico Num. 11. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. Calera, Zac., México. 272 p.
- Reyes-Matamoros, J., Martínez-Moreno, D., Rueda-Luna, R., Rodríguez-Ramírez, T.** (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus*

- vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias. 1(2):192-203.
- Runkle, E.** (2008). Principles of light. Orchids. American Orchid Society. 77(5):350-353.
- Salisbury, I. B. and Ross, C .W.** (1992). Plant Physiology. Wadsworth. Publishing, California, USA. p. 682.
- Santibáñez, F.** (1994). Crop requirements: temperate crops. In: Handbook of agricultural meteorology. J. F. Griffiths (Ed.). Oxford Univ. Press. New York., USA. pp. 174-188.
- Sauter, A., Davies W.J., and Hartung W.** (2001). The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. Journal of Experimental Botany, 363(52):1991–1997
- Schäfer, E. y Nagy, F.** (2002). Phytochromes control photomorphogenesis by differentially regulated, interacting signaling pathways in higher plants. Plant Biology. 53, 329-355.
- Scott, T. K.** (1984). Encyclopedia of plant physiology hormonal regulation of development II. The functions of hormones from the level of the cell to the whole plant. Springer – Verlag. Berlín, Germany. 10, 31-195.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP).** (2010). Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). México: SAGARPA.
- Sermet, O., Caliskan, H.M., Caliska, O.** (2005). Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agricultural Water Management. 73. 73-86.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel y C.X. Zhao.** (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies. 331, 215-225.



- SIACON.** (2014). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Producción nacional de ajo. Obtenida de: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98426/Ajo.pdf>
- SIAP.** (2014). Servicio de información y estadística Agroalimentaria y pesquera, con la información de las delegaciones de la SAGARPA en los Estados. Obtenida de: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- Silva, W.L. de C. E., Carrijo, O.A., Oliveira, C.A.S., Menezes, S.J.A.** (1981). Irrigação da cultura do alho no Distrito Federal. Brasília: Embrapa-CNPH. (Embrapa-CNPH. Circular técnica, 1). p. 36.
- Singh, B. and Singh, G.** (2006). Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 55, 209-219.
- Soriano, M.A., Orgaz F., Villalobos F.J., Fereres E.** (2004). Efficiency of water use of early planting of sunflower. *European Journal of Agronomy*. 21, 465–476.
- Souza, C.R. De., Soares, A.M., Regina, M. De A.** (2001). Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 36,1221-1230.
- Souza, R.J. de; Casali, V.W.D.** (1986). Pseudoperfilhamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. *Informe Agropecuário*, 12, 36-41.
- Souza, R.J. de; Macedo, F.S.** (2004). Vernalização de cultivares de alho nobre na região de Lavras. *Horticultura Brasileira*. 22,651-654.
- Stavěliková, H.** (2008). Morphological characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) genetic resources collection-information. *Hort. Sci. (Prague)*, 35, 130–135.
- Taiz, L., and Zeiger.** (2010). *Plant Physiology*. 5th ed. Sinauer Associates Inc., Publishers. U.S.A. 782 p.

- Thomas, B. and Vince-Prue D.** (1997). Photoperiodism in plants. Academic Press. London, UK. 428p.
- Tofiño, A. H. M. Romero, D. Cabal.** (2013). Aspectos moleculares de la inducción y el desarrollo floral. Boletín informativo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. pp.22-24
- Tyagi, V.K., Thenua, O.V.S., Kumar, D. y Singh, N.** (2013). Dry matter production, seed yield and economics of French bean under different cropping system and irrigation regimes. Indian Journal of Plant Physiology. 1, 18: 23.
- Wu, C., Wang, M., Dong, Y., Cheng, Z., Meng, H.** (2016) Effect of plant age and vernalization on bolting, plant growth and enzyme activity of garlic (*Allium sativum* L.) Scientia Horticulturae. 201,295–305.
- Wu, Z., Skjelvag A. O. And Baadshaug, O. H.** (2004). Quantification of Photoperiodic Effects on Growth of *Phleum pratense*. Annals of Botany 94: 535–543.
- Yuan, B. Z., Nishiyama, S., Kang, Y.** (2003). Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of rip irrigated potato. Environmental and Experimental Botany. 63:153-167.
- Zeevaart, J.A.D. y R.A. Creelmen.** 1988. Metabolism and physiology of abscisic acid. Annu Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biology. 39, 439-473.
- Zhang, S.Q. y Outlaw, W.H.** (2001). Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard cell apoplast and causes stomatal closure. Plant Cell Environ. 24, 1045-1054.