



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMA DE POSRADO EN ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA  
REPUBLICA

**“Efecto de factores ambientales precosecha en el  
desarrollo de la planta, bulbificación y acumulación de fructanos en ajo”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado  
de

Maestro en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Presenta

**Estefany Anabel Galaz Pérez**

Santiago de Querétaro, Qro Junio 2008



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
PROPAC

**“Efecto de factores ambientales precosecha en el desarrollo de la planta,  
bulbificación y acumulación de fructanos en ajo”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Presenta:**  
Estefany Anabel Galaz Pérez

**Dirigido por:**  
Edmundo Mercado Silva

**SINODALES**

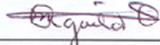
Dr. Edmundo Mercado Silva  
Presidente

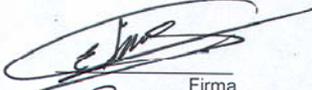
Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios  
Secretario

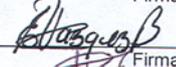
Dr. Eduardo Castaño Tostado  
Vocal

Dra. Guadalupe Xochitl Malda Barrera  
Suplente

Dr. Ramón Gerardo Guevara González  
Suplente

  
\_\_\_\_\_  
Q.B. Magali Aguilar Olvera  
Director de la Facultad

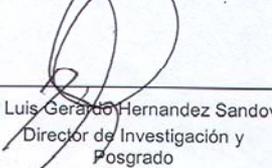
  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Gerardo Hernandez Sandoval  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Junio 2008 México

## RESUMEN

Las propiedades culinarias y medicinales del ajo (*Allium sativum*) se asocian a sus componentes aromáticos y a sus carbohidratos de reserva, los fructanos, que constituyen más del 70% de la materia seca del diente. La calidad comercial del bulbo está dada por su tamaño, forma y ausencia de defectos, siendo mejor apreciados los tamaños más grandes más regulares y sin defectos visuales. Estos factores son determinados por la variedad, las condiciones ambientales de temperatura y fotoperiodo, así como las prácticas de cultivo como fecha de siembra, régimen de fertilización y labores de cultivo. Todos ellos interactúan y generan respuestas fisiológicas y una calidad de producto terminado. El cultivo de ajo requiere de condiciones de baja temperatura durante su desarrollo para poder generar bulbos de buena calidad aunque no se conoce exactamente dichos requerimientos ni los efectos fisiológicos que este factor implica en el desarrollo de la planta. Esto es especialmente importante cuando se pretende introducir una variedad de una zona microclimática a otra. Este trabajo se dividió en dos etapas; en la primera el objetivo fue evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento de la semilla, fecha de siembra, localidad y la aplicación de un promotor de la bulbificación en el desarrollo de la planta y calidad del bulbo de ajo 'Coreano'. En la segunda etapa el objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura de desarrollo de la planta en la acumulación de fructanos en ajo 'California late'. Para la primera etapa se seleccionaron dos microregiones, La Punta (L1) y Las Águilas (L2) del municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes en las cuales se dispuso de datos climatológicos antes y durante el desarrollo del experimento; en cada localidad se llevó un experimento factorial  $2^3$  que incluía: dos temperaturas de almacenamiento (ambiente y 15 días a 5 °C), dos fechas de siembra (F1 y F2) y la aplicación o no de 1000 ppm de paclobutrazol (PBZ) un inhibidor de la síntesis de giberelinas; durante el desarrollo se registraron datos de altura, peso, diámetro del bulbo y cuello e índice de bulbificación y en la cosecha los bulbos de cada tratamiento se pesaron y clasificaron por calidad y los datos se proyectaron para una hectárea de cultivo. En la segunda etapa, los dientes sembrados en macetas se colocaron durante 30 días a 0 (T1), 5 (T2), 10 (T3) y 22 °C (T4) durante 13 h sin luz seguidos de 11 h de luz por día a 16 °C (T4 permaneció a 22 °C); después los tratamientos T1 a T3 fueron sometidos a 10 °C durante 11 h sin luz y 22 °C por 13 h con luz hasta su cosecha, después de treinta días se tomaron periódicamente muestras de hojas para medir su contenido de fructanos. El análisis estadístico de los datos de la primera etapa indicó que hubo efecto significativo de la localidad y de la fecha de siembra mostrándose que en la localidad L1 y la fecha de siembra F1 hubo un mayor peso de plantas y bulbos y que el almacenamiento de la "semilla" a 5 °C durante 15 días o la aplicación de PBZ a la misma no tuvo efecto significativo en el desarrollo de planta ni en el proceso de formación de bulbos. La altura de planta y peso del bulbo estuvieron altamente relacionados con los incrementos de las temperaturas ambientales (mínimas, medias y máximas), la ampliación del fotoperiodo y los incrementos en la intensidad luminosa que ocurrieron a los 120 días después de la siembra, lo cual indicó que el crecimiento de la planta está directamente relacionado con la fotosíntesis. No obstante, el índice de bulbificación no mostró una relación tan estrecha como la presentada por estos factores ambientales; posiblemente debido a las prácticas culturales relacionadas con menores aportes de nitrógeno al final de la etapa de crecimiento que estimularon a la planta a la diferenciación de los bulbos y acumulación de fructanos. En la segunda etapa, se observó una mayor acumulación de fructanos en las plantas tratadas a 0 °C (28.1 g/100g) y un mayor tamaño de los bulbos.

**Palabras clave:** Calidad de Ajo, *Allium sativum*, Factores Precosecha, fructanos, temperatura.

## SUMMARY

The culinary and medicinal properties of garlic (*Allium sativum*) are associated with its aromatic components and their carbohydrate reserve, fructans, which constitute more than 70% of the dry matter. The commercial garlic quality is given by the size, shape of the bulbs and defects absence, being better appreciated sizes larger and more regular without visual defects. These factors are determined by the variety, environmental conditions (temperature and photoperiod), as well as cultural practices as sown date, fertilization regime. They all interact and produce physiological responses and a quality finished product. The garlic crop requires low temperature during their development in order to generate high-quality bulbs but is not known exactly how those factors or their physiological effects change the plant development. This is especially important when the grower is trying to introduce a variety from one area to another with environmental characteristics similar but different lightly. The aim of this study was to assess the effect of storage temperature of the "seed", sown date, locality and the application of a inhibitor of gibberellins biosynthesis on the plant development and garlic quality cv Coreano. In a second experiment the effect of development temperature and photoperiod were evaluated on plant development and fructans content in the leaves of garlic cv 'California late'. In the first experiment, two localities were selected in Rincon de Romos Aguascalientes; L1 La Punta and L2 El Aguila, with climatic data available before and during the experiment, in each locality a factorial experiment  $2^3$  was carried out which included: two storage temperatures (room temperature and 5 °C for 15 days), two sown dates (F1 and F2) and with or without 1000 ppm of paclobutrazol (PBZ). During the plant development the height, weight, bulb and neck diameter, bulbing index data were recorded and at end season the quality bulbs and their weight were evaluated and the data were projected for one hectare. In the second experiment, four bulb sets were stored at 10 °C two weeks and then transferred at a growth chamber during 30 days at 0, 5, 10 and 22 °C and photoperiod of 11h each day. After this period, all treatments were brought at 22 °C with a photoperiod of 13 h and 10 °C during 11 h in dark conditions. During the plant development the same responses were measured and additionally the fructan content was measured in the garlic leaves. The data statistical analysis of the first experiment indicated that there were significant effect of the localities and the sown date; L1 and F1 had a greater plant weight and bulbs diameter. The storage at 5 °C for 15 days or application of PBZ had no significant effect on development plant or in the bulbs forming process. The plant height and weight bulbs were directly related to increases in ambient temperatures (minimum, average and maximum) and photoperiod that occurred after 120 days after sown date indicating that plant growth is directly related with the photosynthesis. However, the bulbing index did not show a relationship as close as the found by those factors, possibly due to cultural practices associated with lower inputs of nitrogen at the end of growth stage that induced the differentiation of bulbs and accumulation of fructans. In the second experiment, there was a greater fructans content in the leaves of plants maintained at 0 °C respect of the other cold temperatures with bulbs bigger than the others temperatures.

**Key words :** Garlic quality, *Allium sativum* , Preharvest factors, fructans, temperature.

*Agradezco a dios por darme la oportunidad de cerrar otro ciclo  
en mi vida.*

*A mi familia dedico este trabajo y les doy gracias por el apoyo  
incondicional, especialmente a mi mamá Martha, los guardesios,  
Hugo, Martín, Ricardo.*

*A mis hermanos consentidos Karina, Poncho, Pamela y  
Valentino aunque siempre se bursen de mi mala memoria y digan...  
Y así estas en la maestría!??*

*A mis sobrinos Aranza la picara, Ponchito el pisco, Montse  
la traviesa y el súper tranquilo Amiskar les brindo el esfuerzo, estoy  
muy contenta de ser su tia.*

*A mi corazonsin Alex por todo su apoyo, comprensión y  
ayuda te amo.*

*A todos mis amigos por la compañía durante las horas de  
estudio, las desveladas, las malpasadas pero sobre todo los buenos  
momentos, ha sido un placer conocer gente inteligente y trabajadora  
como ustedes. (Lofis, Lorenzo, América, Giovanna, Carmeluchis,  
Naye, Chucho, Lauris, Ase, Caro, Estela, Poncho, Mary,  
Erika, Gely, Lulu, Jene, Kat y Hua).*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Querétaro.**

**Al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT).**

**Al Programa de Posgrado de Alimentos del Centro (PROPAC).**

**Al Dr. Edmundo Mercado Silva Por valiosa asesoría y apoyo.**

**A los Doctores, Estela Vásquez Barrios, Eduardo Castaño Tostado, Guadalupe Malda y Ramón Guevara por el soporte académico y sustento profesional aportado a este trabajo.**

**Al Dr. Don Ort por permitirme formar parte de su equipo de trabajo en la universidad de Illinois durante mi estancia académica, así como a su equipo de trabajo Kat Grennan, Lisa Einsworth, Andrew Leakey y Feng Xiu por su apoyo técnico.**

**Al ingeniero Martín de Proajo por su apoyo técnico en las regiones utilizadas para la siembra en Aguascalientes.**

**A las secretarias Carmelita, Laurita, Silvia, Benjamín y Marichu por su diestra conducción administrativa, su disponibilidad y apoyo.**

## ÍNDICE

RESUMEN .....	iii
SUMMARY .....	iv
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. El ajo, su origen, distribución y taxonomía.....	4
2.2. Importancia y problemática comercial del ajo en México .....	4
2.3. Estructura de la planta de ajo .....	7
2.5. Fisiología general del cultivo de ajo. ....	10
2.5.1 Factores que influyen el rendimiento. ....	12
2.5.2 Emergencia de plantas .....	13
2.5.3. Bulbificación.....	13
2.5.3.1. El fenómeno del acebollado.....	15
2.6. FACTORES AMBIENTALES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE BULBIFICACIÓN .....	16
2.6.1 Influencia de la temperatura de almacenamiento en la bulbificación. .....	16
2.6.2 Influencia de la temperatura de campo en la bulbificación .....	17
2.6.3. Influencia de la luz en la bulbificación.....	18
2.6.4. Influencia de la fecha de siembra en la bulbificación.....	20
2.7 FACTORES BIOQUÍMICOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE BULBIFICACIÓN .....	21
2.7.1. Giberelinas.....	21
III. JUSTIFICACIÓN .....	31
IV OBJETIVOS.....	33
4.1. General .....	33
4.2 Objetivos Específicos.....	33
4.2.1 ETAPA I.....	33

4.2.2 ETAPA II .....	33
V. METODOLOGÍA .....	34
5.1 ETAPA I .....	34
5.1.2 Factores a estudiar: .....	34
5.1.3. Variables de respuesta: .....	34
5.3.1. Material biológico para estudios de campo .....	42
5.3.2 Selección de huertos para experimentación y fecha de siembra .....	42
5.3.4. Porcentaje de emergencia de plantas .....	43
5.3.5. Medición de variables de respuesta durante el desarrollo de la planta... ..	43
5.3.6. Evaluación de calidad de bulbos .....	44
5.3.6.1. Clasificación por calibre .....	44
5.3.6.2 Rendimiento por hectárea, Total y por calibre .....	45
5.3.6.3. Presencia de defectos .....	46
5.3.7. Cuantificación de Fructanos en hojas .....	46
5.3.7.1 Extracción de los fructanos .....	47
5.3.7.2 Hidrólisis de sacarosa y fructanos de bajo grado de polimerización. ..	48
5.3.7.3 Medición y cuantificación de glucosa y fructosa en la mezcla .....	48
VI. RESULTADOS Y DISCUSION .....	50
6.1 Análisis climático de la zona de producción .....	50
6.2 Emergencia de plantas .....	52
6.3.1 Efecto de la localidad, fecha de siembra y tratamientos aplicados durante el almacenamiento de la semilla .....	57
6.3.2 Interrelación de los factores ambientales con el crecimiento de la planta .....	64
6.3.3 Calidad de los bulbos cosechados .....	71
6.4 Análisis de Componentes principales .....	75
6.5 ETAPA II. Estudio del efecto de temperaturas y fotoperiodo controlados post-siembra, en cámaras de crecimiento sobre acumulación de fructanos.....	79
6.5.1 Contenido de Fructanos en hojas .....	79
VII Conclusiones .....	84
LITERATURA CITADA .....	86

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
5.2 Programa de muestreo para el análisis de contenido de fructanos, en hojas.	41
5.3 Escala de calibres determinados de acuerdo al diámetro del bulbo de ajo.....	45
6.2. Porcentaje de emergencia de plantas de ajo 'Coreano' en la fecha F1 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).....	53
6.3. Porcentaje de emergencia de las plántulas de ajo para la fecha tardía (F2) de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).....	54
6.4. Fechas de muestreo y días transcurridos después de la siembra .....	57
6.5. Valores P del análisis de varianza para los factores localidad, fecha de siembra y tratamiento en diferentes variables respuesta.....	58
6.6. Comparación de medias para distintas variables respuestas para los factores localidad, fecha de siembra y su interacción.....	60
6.7 Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L1 (La Punta) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (F1 y F2).....	72
6.8 Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L2 (El Águila) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (F1 y F2).....	73
6.9 Valores de los componentes principales a partir de correlaciones.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Producción mundial de ajo en la última década. (Fuente: FAO, 2004). ....	5
2.2. Principales países productores de ajo en el mundo (Fuente: FAO, 2004).	5
2.3. Principales estados productores de ajo en México (Fuente: SAGARPA, 2005).....	6
2.4. Planta joven de ajo. Raíces adventicias (ra), tallo (t), bulbo (b) y hojas funcionarias (hf), (B) bulbo, (C) sección longitudinal del bulbo, (D) bulbillo o diente, (E). sección longitudinal del bulbillo, (F) inflorescencia, escapo florar (ef), bulbillos aéreos (ha) y flores (fl). (Purseglove, 1985).....	8
2.5. Estructura del bulbillo .....	9
2.6 Bulbos de ajo de buena calidad (A) y bulbos de ajo defectuosos; mala formación o diferenciación de dientes (B), acebollados o bombón (C y D)...	16
5.1 Estrategia experimental seguida durante la Etapa I .....	37
5.2. Plantilla de calibración de bulbos de ajo. ....	45
6.1. Temperaturas de la estación Los Pinos (A) y Makelsa (B) desde Enero del 2004 a Marzo 2007. ....	51
6.2. Porcentaje de emergencia de las plántulas de ajo en la fecha F1 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).....	53
6.3. Porcentaje de emergencia de las plantas de ajo para la fecha F2 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).....	55
6.4. Cambios de la altura y de peso de la planta de ajo cultivado en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2).....	63
6.5 Cambios del diámetro del bulbo (DB) e índice de bulbificación (IB) en la planta cultivado en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2). ....	63
6.6. Cambios en la altura de la planta de ajo comparada con los cambios en las temperaturas Máxima, media y mínima para la localidad 1 (L1) y dos fechas de siembra (F1 y F2). ....	65

6.7. Cambios del peso de la planta de ajo respecto de dos fechas de siembra (F1 y F2) cultivadas en la localidad L1 (La Punta).....	65
6.8. Cambios del diámetro del bulbo de ajo respecto de dos fechas de siembra (F1 y F2) cultivadas en la localidad L1 (La Punta).....	66
6.11. Efecto del fotoperiodo en diámetro de bulbo (DB) e Índice de bulbificación acción (IB) en ajo en la Localidad L1 en dos fechas de siembra (F1 y F2). .....	69
6.12. Efecto de la Intensidad de irradiación lumínica máxima diaria (Watts m-2) en la altura y peso de ajo en la localidad L1 (La Punta) en dos fechas de siembra (F1 y F2).....	70
6.13 Efecto de la Intensidad lumínica máxima diaria (Watts m-2) en el diámetro del bulbo (DB) e Índice de bulbificación (IB) en plantas de ajo en la Localidad L1 (La Punta) en dos fechas de siembra (F1 y F2).....	71
6.14 Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L1 (La Punta) y L2 (El Águila) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (S1 y S2) .....	74
6.15. Análisis de componentes principales 1 vs 2 (CP1 vs CP2) para la calidad de ajo en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2) .....	77
6.16. Análisis de componentes principales 1 vs 3 (CP1 vs CP3) para la calidad de ajo en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2) .....	78
6.17 Acumulación de fructanos a través del ciclo de cultivo de ajo California Late a diferentes temperaturas después de la siembra. ....	80

## I. INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum* L.) figura entre las plantas que consume el hombre desde tiempos muy antiguos tanto con fines culinarios o medicinales y actualmente su consumo se ha expandido, tanto en su forma fresca como procesada debido a que también posee propiedades funcionales o nutraceuticas. Para el año 2004, México ocupó el lugar número 20 dentro de los países productores de ajo en el mundo siendo el estado de Zacatecas el principal productor (16,797 Ton), seguido por Guanajuato (12,476 Ton), Puebla (2,819 Ton) y en cuarto lugar el estado de Aguascalientes con una superficie sembrada de 331 hectáreas con un rendimiento de 12 ton/ha en 2004/2005 para riego y temporal. (SAGARPA 2006). En cuanto al mercado de exportación, México se encuentra junto a uno de los países consumidores más importantes del mundo (Estados Unidos), además de contar con la ventaja de poder producir ajo fresco para ese mercado cuando la oferta mundial es baja; no obstante, la incursión de China en los mercados internacionales ha generado una considerable reducción de nuestros volúmenes de exportación con lo que la producción nacional está enfrentando problemas para su comercialización.

Ante esta problemática, los productores de Aguascalientes han visto la necesidad de buscar alternativas en el mercado interno; sin embargo, el mercado nacional demanda ajos morados los cuales no son producidos comúnmente en la zona de Aguascalientes la cual se había especializado en la producción de ajos blancos; por ello es necesario realizar trabajos de introducción de variedades elegidas con las características de color deseadas.

La simple introducción de variedades con las características deseadas en la zona de Aguascalientes no ha generado los resultados buscados; por ejemplo el traslado simple de las variedades moradas de Guanajuato no genera una adecuada bulbificación y por lo tanto la calidad obtenida está por debajo de los mínimos requeridos para llevar a cabo su comercialización. Ante esta

problemática, los productores de ajo de Aguascalientes están tratando de adaptar determinadas selecciones o variedades de ajos jaspeados que tienen menores problemas de adaptación (algunos se producen en Zacatecas) y cuyos requerimientos ambientales podrían ser suministrados por un adecuado manejo de la semilla antes de su siembra.

Entre las variedades que pueden cumplir con estas expectativas están los ajos morados producidos en Zacatecas, los cuales aun presentan alteraciones en su desarrollo como el “acebollamiento” (no diferenciación de los dientes) debido a las diferencias climáticas entre ambas zonas de cultivo.

El ajo es una especie que depende de las condiciones termofotoinductoras, y su distribución geográfica se ubica desde el Ecuador hasta 40° Latitud Sur y Norte, desde el nivel del mar hasta los 3700 m.s.n.m; lo que muestra su alta capacidad de adaptación (Burba, 1992).

Este cultivo requiere clima frío (factor temperatura) durante el almacenamiento precosecha y en la primer etapa de desarrollo y mayores temperaturas y luz cuando comienza a formarse el bulbo hasta su cosecha. Si la planta no está sujeta a estas condiciones se producen alteraciones en la formación del bulbo, aunque este aspecto no esta debidamente documentado. (Burba, 1992).

Con la acumulación de conocimiento respecto del efecto de estos factores ambientales en el desarrollo de los bulbos, es posible dar los lineamientos generales de una tecnología que permita generar bulbos de ajo con la calidad que demanda el mercado nacional.

Los procesos bioquímicos de interés serán sistemas internos de control de la planta, como la síntesis y activación de los reguladores de crecimiento

(Giberelinas), los cuales se ven afectados por los factores antes mencionados e interacciones entre ellos.

En la presente Tesis de Maestría se estudio el efecto de los factores ambientales en el desarrollo de la planta y bulbo y con la calidad de la cosecha; adicionalmente se analizó el efecto de un inhibidor de la síntesis de giberelinas el cual puede facilitar o promover la bulbificación. Bajo ambientes controlados se estudió el efecto de la temperatura y el fotoperiodo en el contenido de fructanos en las hojas.

El conocimiento generado pretende llenar el vacío de información entre los requerimientos climatológicos de la planta en precosecha y poscosecha del ajo y así lograr un mejor control de los factores que afectan la calidad de los ajos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El ajo, su origen, distribución y taxonomía

El ajo fue domesticado por el hombre para ser usado como alimento y después como planta medicinal. Su centro de origen es Asia central (Kasajastán, Uzbekistán y Turmenistán) de donde se expandió a Egipto y China (Mc Collum, 1976, Cabrera y Elliot 1996). Posteriormente se introdujo a América muy probablemente a través de México durante la conquista española diseminándose hacia el sur (Chile) y al Norte donde actualmente tiene gran importancia económica. (FAO, 2004).

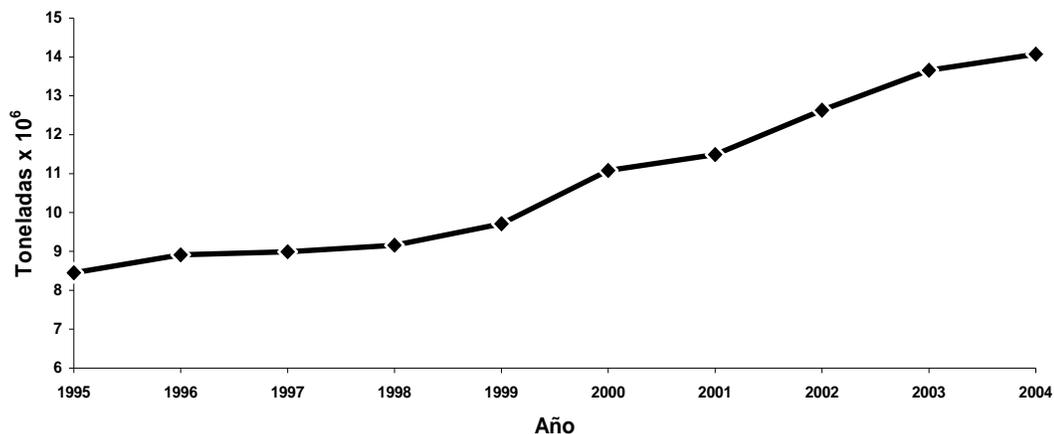
En la familia *Alleaceae*, el género *Allium* es muy diverso y de la especie *sativum* no se conocen formas silvestres sino solo cultivadas (Trabu 1968), siendo la especie *Allium longicuspis* su probable ancestro. Su domesticación debió de haberse desarrollado por medios vegetativos ya que no se le conocen formas reproductivas sexuales a diferencia de otras especies como *Allium cepa* (cebolla) y *Allium porrum* (puerro) que pertenecen a la misma familia, pero que por tener formas sexuales se pueden reproducir por semillas mientras que el ajo se propaga exclusivamente por bulbillos o dientes (Koul y Gohil 1970). Su ancestro es también de reproducción asexual y no tiene semillas viables.

Esta hortaliza presenta una interesante variabilidad en materiales cultivados en el mundo diferenciándose en madurez, periodos de dormancia, requerimientos de frío, tamaño de bulbo, número de dientes, color de las hojas protectoras entre otros (Burba y Blanco 1986).

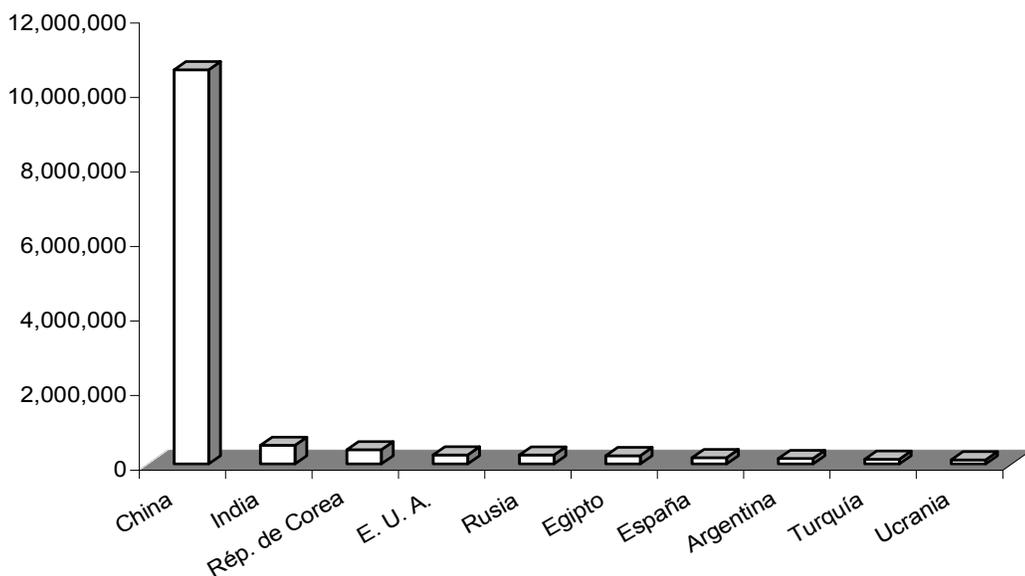
### 2.2. Importancia y problemática comercial del ajo en México

El ajo es una hortaliza de gran aceptación a nivel mundial y su producción en el mundo se ha incrementado durante los últimos diez años (Figura 2.1). En

2004 se produjeron 14, 071, 355 ton en el mundo siendo China el país líder con 10, 578, 000 Ton. (Figura 2.2.).



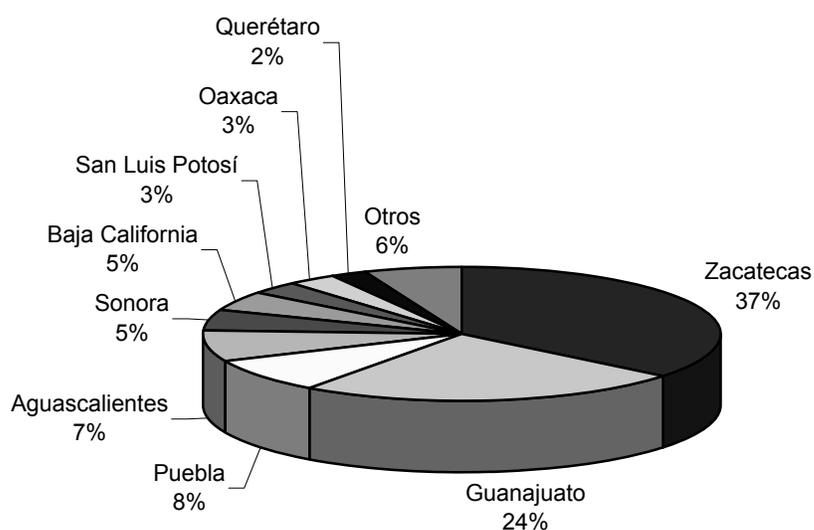
**Figura 2.1. Producción mundial de ajo en la última década. (Fuente: FAO, 2004).**



**Figura 2.2. Principales países productores de ajo en el mundo (Fuente: FAO, 2004).**

México ocupó en ese año el 20° lugar a nivel mundial, con una producción de 47,561 ton en una superficie cultivada de 4,777 ha (FAO, 2004).

Según datos del 2005, la zona centro del país fue la más importante a nivel nacional, destacando los estados de Zacatecas y Guanajuato, con una producción de 18 564 Ton (37%) y 12 677 ton (24%), respectivamente (Figura. 2.3.).



**Figura 2.3. Principales estados productores de ajo en México (Fuente: SAGARPA, 2005).**

No obstante, en los últimos años se ha producido una disminución importante en la producción y en la superficie sembrada (SAGARPA, 2005). Este fenómeno se debe a la incursión de ajo procedente de China en los mercados internacionales el cual compite ventajosamente con los demás países productores debido a su bajo precio. Esta situación, ha provocado diferentes respuestas en los países productores para establecer una estrategia de comercialización que les permita superar el problema. Una de dichas estrategias es dirigir su producto hacia mercados que ofrezcan ciertas ventajas. Para los productores de Aguascalientes, quienes se habían dedicado fundamentalmente a la producción

de ajos blancos para el mercado de exportación, están centrando su interés en el mercado nacional donde se demandan principalmente ajos de tipo jaspeado o morados.

Aunque ya se ha adquirido cierta experiencia en la adaptación de ciertas variedades con esas características; se requiere de un conocimiento más profundo de las distintas micro regiones con posibilidades para la producción así como el de disponer de conocimientos técnico fisiológicos que permitan manipular el cultivo y así obtener una adecuada calidad de los bulbos al final del proceso.

Dicha información no existe o se encuentra dispersa y desde luego nunca se ha generado para las variedades cultivadas en nuestro país. La información es aún escasa si se refiere a la influencia de los factores ambientales y de almacenamiento de la “semilla” sobre la acumulación de fructanos durante el desarrollo del diente o bulbo, los cuales son el componente principal de la materia seca de este producto.

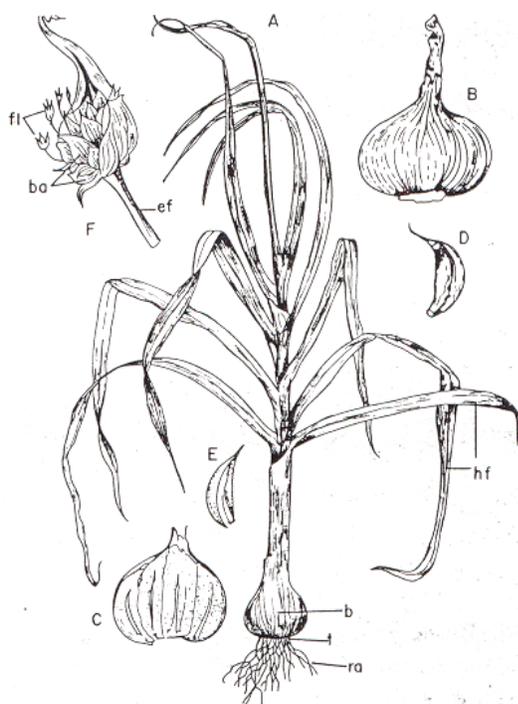
A efecto de entender mejor el proceso de bulbificación, es importante dar una información acerca de la estructura de la planta de ajo y posteriormente dar una idea clara y actualizada de la fisiología del desarrollo de este cultivo y de los eventos y fenómenos que ocurren específicamente durante la bulbificación.

### **2.3. Estructura de la planta de ajo**

De acuerdo con Purseglove (1985), el ajo es una planta herbácea bianual erecta de 30 a 60 cm de altura, de raíces adventicias superficiales, con bulbos compuestos por un tallo discoidal, hojas escamosas delgadas o afiladas y secas, éstas últimas constituyen la base de las hojas fotosintéticamente activas (hojas aéreas), y bulbillos o dientes formados de yemas axilares de las hojas funcionales más jóvenes (Figura 2.4). Las hojas son aplanadas, sólidas, con 2.5 cm o menos de ancho, plegadas en forma longitudinal; éstas varían en número, pero

generalmente son menos de 10. La hoja consta de una parte afilada y la base de la propia hoja, que unida al tallo, lo cubre. Algunos clones no producen inflorescencias o escapo floral. Cuando se produce el escapo floral, éste es redondo, sólido y enrollado al principio. En la inflorescencia se producen pequeños bulbillos, las flores varían en número y algunas veces están ausentes y muy rara vez producen semillas.

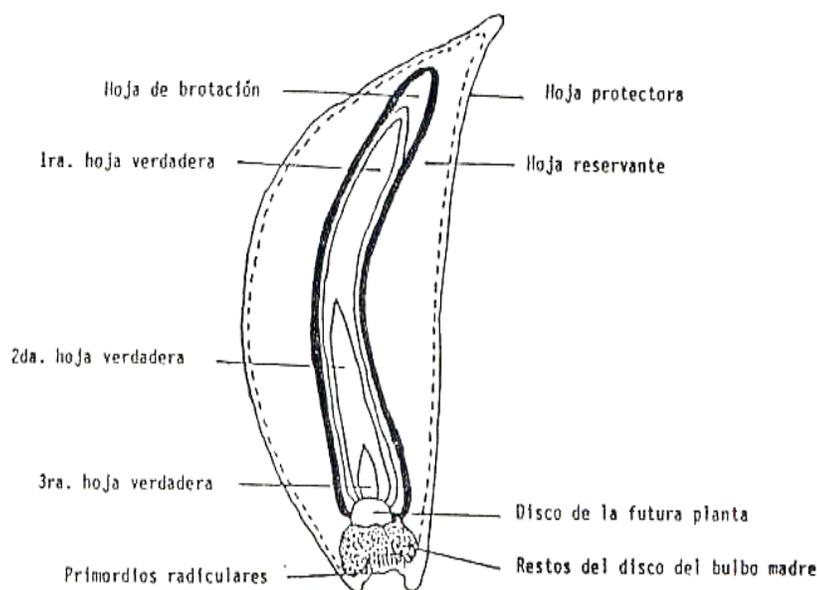
El grado de desarrollo de la inflorescencia varía considerablemente con el genotipo y con el estado del escapo floral (Figura 3.4.):



**Figura 2.4. Planta joven de ajo. Raíces adventicias (ra), tallo (t), bulbo (b) y hojas funcionarias (hf), (B) bulbo, (C) sección longitudinal del bulbo, (D) bulbillo o diente, (E) sección longitudinal del bulbillo, (F) inflorescencia, escapo floral (ef), bulbillos aéreos (ha) y flores (fl). (Purseglove, 1985).**

Según Bell y Bryan (1991), el bulbo de ajo consiste de una serie proximal de hojas escamoso-membranosas de protección que no cubren las yemas; otra serie de hojas similares que cubre cada una de ellas (dientes), y más distalmente un número de hojas funcionales (Heredia, 2000).

Los bulbillos simples o “dientes”, se originan en la axila de las hojas fértiles o dentadas y están apoyados sobre el tallo anual o “disco”. Cada diente está compuesto por una serie de hojas modificadas, como se ilustra en la Figura 2.5. Por su estructura son órganos de propagación de ésta especie pues son yemas vegetativas en estado de letargo pero que activan su crecimiento para generar una nueva planta bajo determinadas condiciones ambientales.



**Figura 2.5. Estructura del bulbillo**

La hoja externa, denominada *protectora*, consiste sólo de una vaina foliar lignificada y seca, ésta es la responsable del color del diente que caracteriza a los cultivares y que varía desde el blanco al púrpura. Hacia el interior continúa otra hoja sin lámina, de gran espesor, denominada hoja de reserva o de almacenamiento, que representa entre 90 y 95 % del peso total del diente y en la cual se acumulan los fructanos. Después de esta hoja se encuentra aquella que envuelve a la hoja de *brotación* o “germinadora”, que es delgada y sin lámina. Ésta se desarrolla durante el almacenamiento y puede ser utilizada como indicadora del estado de letargo (Izquierdo y col., 1992).

Protegidos por la hoja de brotación, se encuentran varios primordios, llamados hojas foliares o verdaderas y que son responsables de la arquitectura normal de la planta. Todas las hojas que conforman el diente están asentadas sobre un pequeño disco (tallo anual o “plato”); el cual posee primordios radicales que originarán la raíz fascicular típica de esta especie (Izquierdo y *col.*, 1992).

## **2.5. Fisiología general del cultivo de ajo.**

Según Brewster (1994), el objetivo de la producción de estas hortalizas es obtener un alto rendimiento de producto de alta calidad añadiendo que el rendimiento de una cosecha esta determinado por los siguientes factores:

- ⊕ La cantidad de luz absorbida por las hojas mientras la materia seca a cosechar está siendo producida.
- ⊕ La eficiencia a la cual la luz absorbida se convierte en sacarosa durante la fotosíntesis.
- ⊕ La proporción de fotosintatos producidos que son transferidos a la fracción cosechable de la planta.
- ⊕ Del coeficiente de conversión entre la sacarosa fotosintetizada y los constituyentes bioquímicos del material cosechado.
- ⊕ De la pérdida de peso debido a la respiración y pudriciones después de que los procesos anteriores han ocurrido.

La cantidad de luz que absorbe la planta depende de la cantidad de luz que irradia el sol en el campo, el porcentaje de luz que absorben las hojas y la duración del periodo de crecimiento. Estableciéndose en términos generales que un alto rendimiento se debería obtener con alta absorción de la luz incidente por el follaje (canopia) durante una estación de alta irradiación solar. Es decir que si mayor es la intensidad y el fotoperiodo en el que se están transfiriendo los fotosintatos al material cosechable mayor es el rendimiento. No obstante, la magnitud y el desarrollo de la canopia están controlados por respuestas

fisiológicas a las condiciones ambientales. Este mismo autor señala que para el caso de este tipo de cultivos que generan bulbos (plantas bianuales), la respuesta es compleja ya que el mismo desarrollo del bulbo lleva al cese de la formación y renovación del follaje.

Por otro lado la eficiencia con la cual la luz absorbida se convierte a productos fotosintéticos primarios puede estar afectada por la temperatura y el estado del agua en las hojas. Es decir si la temperatura está por arriba o por debajo de un óptimo, la eficiencia fotosintética se reduce. Si hay estrés de agua, los estomas se cierran, la difusión de  $\text{CO}_2$  disminuye con lo que consecuentemente la fotosíntesis también disminuye. Por lo tanto para que haya una adecuada función fotosintética y crecimiento de la planta deberá tener un adecuado suministro de agua y nutrientes además de una temperatura adecuada.

Respecto del coeficiente de conversión entre el peso de la sacarosa de fotosíntesis al peso seco almacenado en los tejidos de reserva y en la estructura de la planta, depende de la composición bioquímica del tejido. La parte comestible de los cultivos de *Allium* contienen azúcares simples y fructanos además de los carbohidratos estructurales y constituyentes protoplásmicos típicos de todas las células, por lo que estos tejidos deben tener una relación muy alta de peso seco final a fotosintatos utilizados.

Según Brewster (1994), las investigaciones sobre las funciones fotosintéticas, la biosíntesis de compuestos así como la respiración en este tipo de tejidos eran tremendamente escasas y que no obstante, para el caso de cebolla se había establecido que en ésta en condiciones bien irrigadas y durante la bulbificación se producían 1.6 g de materia seca por mega joule de radiación solar interceptada. No obstante, estos valores varían y son bajos en condiciones de alta irradiación (altos niveles de luz) y alta temperatura y altos con menores irradiaciones y baja temperatura. Una falta de irrigación en tiempo seco disminuye esta eficiencia de conversión.

### **2.5.1 Factores que influyen el rendimiento.**

Para el caso de cebolla (Brewster 1994), si se compararan los rendimientos del cultivo bien irrigado y sembrado en dos fechas distintas de siembra, los rendimientos varían por un factor de más de 5 dependiendo de la variedad y densidad de plantas. Tales diferencias no pueden ser explicadas solamente por las diferencias en la eficiencia con la cual se interceptó la luz y se convirtió en materia seca.

Una densidad de plantas alta genera un mayor rendimiento de bulbos, lo cual se correlacionó directamente con el porcentaje de luz interceptada por la canopia. Así también se indica que una siembra retrasada genera menores rendimientos y nuevamente se indica una correlación positiva con el índice de área foliar y con la cantidad de luz interceptada.

De manera similar se indica que la fecha de madurez también influye de manera directa en el rendimiento. Las variedades de maduración tardía tuvieron mayor rendimiento, mayor índice de área foliar y mayor cantidad de luz interceptada.

En todos los ejemplos anteriores se muestra que los rendimientos se incrementan a medida que se incrementa el porcentaje de luz interceptada y ésta se encuentra relacionada con la magnitud del área foliar; por lo que para incrementar los rendimientos, en teoría sería necesario incrementar el área foliar lo que se consigue aumentando la densidad de plantación. No obstante, en este sistema, el tamaño de los bulbos se reduce fuertemente por lo que esto no es una práctica comercial puesto que los mercados requieren bulbos de 5-7 cm de diámetro y en función de ello hay que determinar la densidad de plantas más adecuada.

### **2.5.2 Emergencia de plantas**

Las condiciones adecuadas para lograr un buen porcentaje de plantas emergidas se han estudiado en el laboratorio (López Echevarría 2004; Flores-Flores 2005; García-Garibay 2005 y Meza-Hernández, 2005) y por otros autores (Mann y Mingues 1958) y se ha determinado que las temperaturas que inducen la brotación del ajo se encuentra en un intervalo de 5 a 23 °C. Para el caso de cebolla se indicó una ecuación como la siguiente (Bierhuizen y Wagenvoort 1974 citados por Brewster 1994):

$$\text{Tiempo para 50\% de emergencia} = S / (T - T_{\min})$$

Donde S es la suma de calor a grados día referentes a las temperaturas inductoras de brotación; T es la temperatura a la cual se quiere calcular la emergencia de plantas y T min es la temperatura base por debajo de la cual no hay brotación. No obstante, aun no se ha desarrollado un modelo para el caso del ajo.

### **2.5.3. Bulbificación**

El proceso de formación de bulbos es de particular importancia para la producción de ajo, ya que los bulbos constituyen el elemento fundamental del producto y el momento de iniciación del bulbo en relación al desarrollo de la canopia es crítico para determinar los rendimientos. Por ello es necesario e importante entender el mecanismo que controla el inicio de la bulbificación. Se ha indicado que la dilatación del bulbo de ajo se produce cuando la temperatura media diaria es mayor de 18 °C a 20 °C, y cuando el fotoperíodo supera un umbral

que es diferente para cada cultivar o genotipo. Cultivares adaptados a las regiones tropicales tienen un umbral de entre 11 y 12 horas de luz (Izquierdo y col., 1992).

El bulbo comienza a formarse por un estímulo termofotoperiódico que se caracteriza a través de dos etapas. La primera llamada “inductiva” en la cual, el frío o los días largos serían factores imprescindibles. En la segunda etapa, llamada “morfológica”, las condiciones termo o fotoperiódicas son sólo capaces de modificar la velocidad del proceso de bulbificación (Izquierdo y col., 1992).

La bulbificación comienza con el hinchamiento de las bases de las hojas afiladas y luego con el hinchamiento de los primeros dientes formados. Los dientes continúan iniciándose en las axilas de las hojas internas del follaje conforme avanza el proceso de bulbificación. Durante la bulbificación, las hojas jóvenes en desarrollo terminan de formar las partes afiladas pero desarrollan en hojas hinchadas u hojas del bulbo. La bulbificación se puede caracterizar por un incremento en la relación del diámetro máximo del bulbo con respecto al diámetro mínimo del pseudo tallo o cuello del bulbo, esta relación se denomina ‘índice de bulbificación’ (Brewster, 1994).

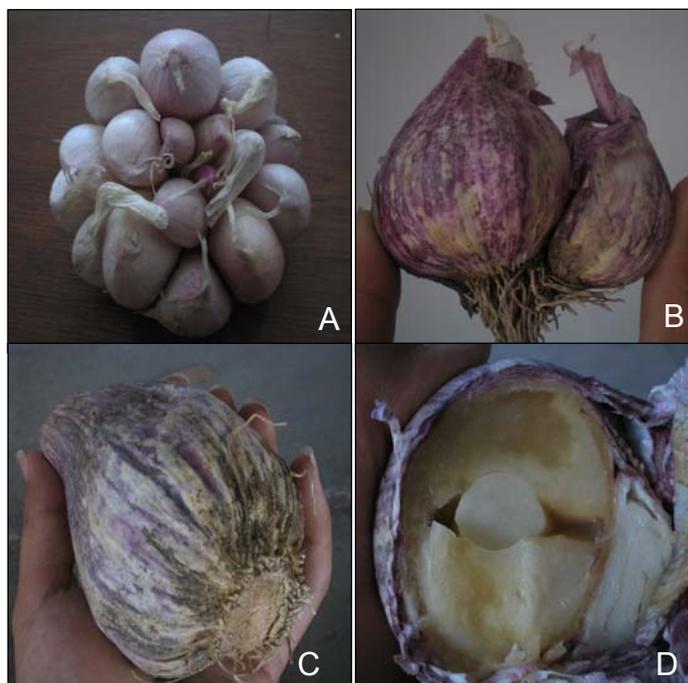
Para la producción con múltiples dientes en variedades productoras de escapo floral; la iniciación de la inflorescencia puede ocurrir antes de la diferenciación de las hojas de almacenamiento, para entonces romper la dominancia apical y permitir la formación de yemas axilares que, podrían entonces diferenciarse en hojas de almacenamiento y formar dientes. En los cultivares que no producen escapo floral, la ramificación axilar puede ocurrir antes de que las hojas de almacenamiento se diferencien. Esto se favorece con temperaturas frías y fotoperíodos cortos inmediatamente después del plantado. Una vez que la ramificación axilar ocurre, los incrementos en temperatura y fotoperíodo promoverán la diferenciación de las hojas de almacenamiento y el desarrollo de un bulbo con múltiples dientes.

Cuando el bulbo madura, la hoja de cubierta más externa hasta la tercera más interna, se convierten en cubiertas más delgadas, secas y protectoras como una cubierta de papel. Ya que las hojas afiladas dejan de formarse en las hojas internas del bulbo, el seudo tallo queda vacío. También los tejidos de la cubierta en la región media del cuello se ablandan y pierden turgidez, ocasionando, finalmente, la caída del follaje. Esta caída del follaje, es un indicador útil de la madurez del bulbo y por tanto un índice de cosecha (Brewster, 1994).

### **2.5.3.1. El fenómeno del acebollado**

Idealmente, los bulbos de ajo maduro al ser cortados en una sección transversal, deben tener una apariencia circular y aparecer cubiertos por varias capas externas, y de ser así, a estos ajos se les considera uniformes. No obstante, existen algunas anomalías comunes en la producción de ajo. Uno de los mayores defectos es el 'acebollado', en el que el diente terminal constituye la única hoja de almacenamiento, estos bulbos de un solo diente tienen forma redonda con apariencia de una cebolla, de ahí el nombre. También se ha observado que una bulbificación demasiado rápida ocasiona este fenómeno de formación de un solo diente en el ápice foliar, sin la generación de yemas laterales previo al desarrollo de los dientes y sin desarrollo de inflorescencia. Esta misma situación también se ha observado en bulbos que fueron almacenados por demasiado tiempo, por lo que se considera que este factor (tiempo de almacenamiento de la semilla), además de la longevidad de las axilas en las que los dientes se pueden formar, elevan el potencial para formación de ajo 'acebollado'. Otras de las razones por las que se considera que este problema puede presentarse, es la incidencia de fotoperíodos largos y temperaturas altas inmediatamente después de la plantación, que promueven una rápida diferenciación de las hojas de almacenamiento, así que los dientes pueden formar ramificaciones axilares anticipadamente, resultando en bulbos de un solo diente (Brewster, 1994). No obstante estas descripciones, hasta el momento, no se han descrito los cambios

bioquímicos, y de los niveles hormonales y otras sustancias, que pueda propiciar este fenómeno.



**Figura 2.6** Bulbos de ajo de buena calidad (A) y bulbos de ajo defectuosos; mala formación o diferenciación de dientes (B), acebollados o bombón (C y D).

## **2.6. FACTORES AMBIENTALES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE BULBIFICACIÓN**

### **2.6.1 Influencia de la temperatura de almacenamiento en la bulbificación.**

Ayabe y Sumi (1998) encontraron que el pretratamiento (almacenamiento) de bulbos de ajo a 4 °C promovió la bulbificación *in vitro* a partir de brotes producidos mediante el cultivo de meristemos. Estos autores almacenaron bulbos de ajo a 4 °C y temperatura ambiente por 2 a 12 semanas antes de preparar los explantes de tallo discoidal. La formación de bulbillos *in vitro* se vio favorecida, ya

que más del 95% de los brotes formó bulbillos después del tratamiento de baja temperatura por más de 8 semanas. En contraste, los brotes del ajo almacenado a temperatura ambiente nunca generaron bulbillos *in vitro*.

Rahim y Fordham (2001) utilizando temperaturas de almacenamiento de 5, 10, 15 y 20° C, durante 15 y 30 días antes de la plantación; encontraron que los dientes almacenados a 5 y 10 °C mostraron una iniciación acelerada y un desarrollo y madurez de los bulbos mejor que los dientes almacenados a 15 y 20 °C.

Según Brewster (1994), los dientes de ajo 'California Late' almacenados a 5 °C por 3 o 4 meses maduran a mediados de agosto, mientras que los dientes almacenados a 20 °C por 1.5 meses seguido de 3 meses a temperatura más baja, presentaron un retraso en la bulbificación y tuvieron fallas en su maduración. Al parecer, después de una reversión de la inducción de la bulbificación debido a altas temperaturas, la bulbificación puede ser reinducida mediante un periodo de almacenamiento en frío posterior. Se ha observado que para los dientes plantados en el otoño, las temperaturas frías en el campo después de la plantación, refuerzan cualquier efecto de la temperatura de almacenamiento antes de la plantación, aunque esto variará con la estación y la localidad. De ahí que en este trabajo se pretende estudiar qué efecto tiene la temperatura de almacenamiento de 5 °C en la velocidad y calidad de la bulbificación de ajo en campo.

### **2.6.2 Influencia de la temperatura de campo en la bulbificación**

La temperatura del ambiente y de suelo en el campo, tienen un papel fundamental en el proceso de bulbificación. Rahim y Fordham (2001) indicaron que dientes almacenados a bajas temperaturas (5 o 10 °C) y posteriormente sembrados en campo a temperaturas altas, formaron bulbos más pronto que aquellos que fueron sembrados a temperaturas bajas y almacenamiento previo a temperaturas más altas (15 y 20 °C). También destacaron que las temperaturas elevadas de suelo generan, al inicio del desarrollo de la planta, altas tasas de

acumulación de materia seca en el bulbo, pero más tarde declina, debido a la rápida senescencia tanto de hojas como de raíces.

Wickramasinghe y col. (2000) realizaron un experimento con dos cultivares de cebolla tropical roja, en cámaras de crecimiento para evaluar el efecto de la temperatura ambiental en la respuesta a la bulbificación, indicando un efecto significativo de la temperatura. Las plantas crecidas a un régimen de temperatura de 29-34 °C (noche/día) bulbificaron rápidamente, mientras que bajo temperaturas de 25-30 °C, 21-26 °C y 17-22 °C, la bulbificación se retrasó 67, 52 y 55 días en el cultivar 'Red Creole' y en el cultivar 'Agrifound Creole', la bulbificación ocurrió aproximadamente a los 66, 46 y 50 días bajo los mismos tratamientos. En general, estos autores comentan que las plantas crecidas bajo las más altas temperaturas produjeron el menor número de hojas de protección en el bulbo. El número de hojas de almacenamiento en ambos cultivares incrementó cuando las temperaturas disminuyeron.

Rahim y Fordham (1994) en un estudio de bulbificación de ajo tropical del cultivar Bangla Desh, crecido en condiciones controladas de temperatura, encontraron que los rendimientos de plantas crecidas a 15-10 °C (día/noche) fueron mayores que las plantas crecidas a 30-25 °C (día/noche). En el caso del ajo 'Coreano' es importante conocer que efecto tiene la temperatura de una micro región con respecto a otra y evaluar cómo se ve afectada la formación del bulbo, para así poder seleccionar la micro región que reúna las condiciones más favorables para la formación de bulbos de óptima calidad.

### **2.6.3. Influencia de la luz en la bulbificación**

La luz ejerce un papel muy importante en la formación del bulbo bajo su modalidad de fotoperíodo y radiación. Rahim y Fordham (1990), en un estudio del efecto de la sombra y condiciones ambientales en la iniciación y desarrollo de dientes de ajo, reportan que la tasa de iniciación, diferenciación y desarrollo de

dientes de ajo incrementó conforme incrementó la transmisión de luz y fue máxima en los tratamientos controles (sin cubierta). También comentan que el tiempo para alcanzar una diferenciación completa fue de 90 días bajo condiciones de luz completa y hasta de 140 días bajo 25% de luz total. Los dientes se diferenciaron hasta 6 hojas de follaje en los tratamientos sin cubierta (100% de luz), pero solo hasta 4 en los tratamientos con cubierta (25% luz).

Estos mismos autores en el año 2001, hicieron un experimento en el que sembraron semillas de ajo bajo fotoperíodos de 8, 12 y 16 horas; observando que el inicio de la bulbificación fue más rápido en fotoperíodo de 16 h, pero los rendimientos fueron más altos bajo el de 12 h, además indicaron que el fotoperíodo de 16 h redujo el tiempo requerido para la maduración del bulbo, más que los otros tratamientos.

Tagaki y col. (1995) en un estudio de bulbificación de ajo *in vitro*, encontraron que esta se promovió con el uso de luz rojo-lejano (600-900 nm). Además observaron que los bulbos que se formaron más rápido fueron aquellos desarrollados a partir de explantes de dientes sometidos a tratamiento de 5 °C por 30 días y crecidos bajo un foto período de 16 horas, por lo que concluyeron que tanto la fuente de luz como el fotoperíodo afectan fuertemente la morfogénesis *in vitro* de plántulas de ajo.

Le Guen-le Saos y col. (2002) en un trabajo con chalote (*Allium ascalonicum*, L. Aggtegatum Group) observaron que las plantas desarrolladas *in vitro*, formaron bulbos bajo condiciones de luz fluorescente enriquecida con radiación rojo-lejano con un foto período de 16 horas, incluso destacan que el índice de bulbificación de las plantas crecidas bajo luz fluorescente sin enriquecimiento con rojo-lejano, nunca superó el valor de 2 (relación longitud del bulbo/longitud del cuello), lo cual indicó una alteración en la bulbificación. Por otro lado, para el día 30, el 80% de las plantas bajo luz fluorescente enriquecida, ya habían formado bulbo, y para el día 90, el 100% lo había hecho. Estos autores

también comentan que el requerimiento de luz enriquecida en radiación rojo-lejano indica que la respuesta de la bulbificación requiere de la acción del fitocromo.

#### **2.6.4. Influencia de la fecha de siembra en la bulbificación**

Rahim y Fordham (2001) en un trabajo sobre bulbificación de ajo, retrasaron la fecha de siembra de Noviembre a Enero y observaron que el rendimiento del ajo disminuyó significativamente. En un experimento similar, Anwar y Rahim, (1995) demostraron que la plantación temprana de los dientes de ajo con tratamiento de frío ocasionó un menor crecimiento y rendimiento comparado con el tratamiento control, pero en la plantación tardía, el tratamiento en frío favoreció el crecimiento y el aumento en el rendimiento de los bulbos.

Ledesma y *col.* (1983) expusieron dientes de ajo cv. Rosado Paraguayo a bajas temperaturas (5, 10, 15 y 20 °C) durante períodos variables de almacenaje y sembrados en diferentes épocas. Los dientes fueron plantados en campo el 28 de febrero, 25 de marzo, 25 de abril, 25 de mayo y 25 de junio. Los períodos de almacenaje previo a la siembra en las distintas épocas de siembra modificaron el crecimiento de las plantas, el inicio de bulbificación y la duración del ciclo vegetativo. Los autores destacan que hubo una disminución altamente significativa en los rendimientos y calidad comercial conforme se atrasaba la época de plantación. Ellos encontraron que la bulbificación se adelantó a medida que la plantación se atrasó, efecto que se acentuó en los dientes sometidos a frío por períodos más prolongados (2 meses).

Los productores de ajo 'Chino' de las regiones que serán objeto de este estudio, han reportado que la fecha de siembra puede tener un efecto importante en la formación de los bulbos, por esta razón y los estudios previos en otros cultivares de ajo, es que se considera necesario analizar este factor.

## 2.7 FACTORES BIOQUÍMICOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE BULBIFICACIÓN

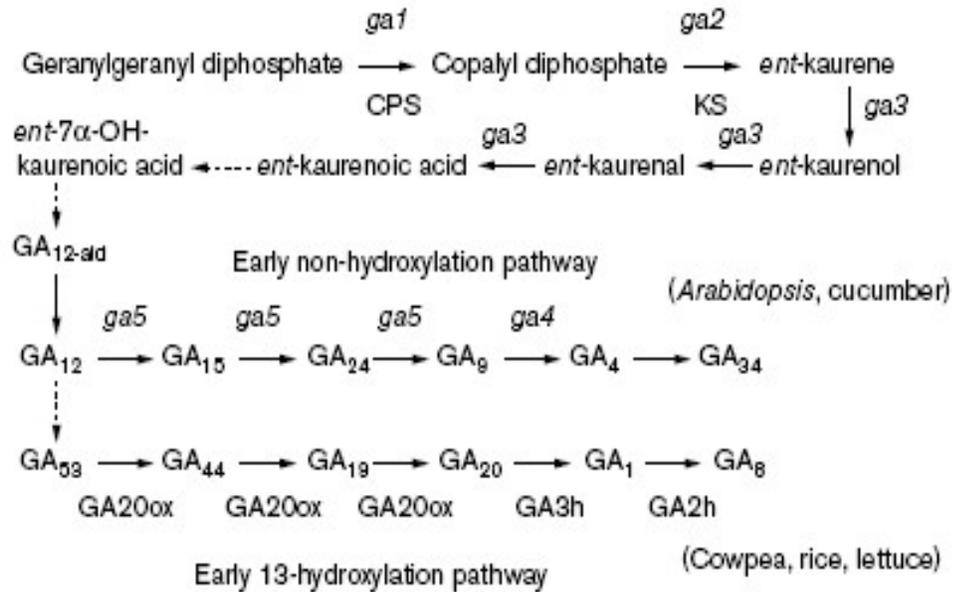
### 2.7.1. Giberelinas

Las giberelinas (GAs) son hormonas que actúan a lo largo del ciclo de vida de las plantas, teniendo influencia en la germinación de semillas, promoción del crecimiento longitudinal, elongación del tallo, inducción de flores, desarrollo de anteras, crecimiento de semilla y pericarpio y la promoción de formación y desarrollo del fruto (Hedden y Kamiya, 1997).

Las GAs son diterpenoides que constan de 19 ó 20 átomos de carbono. Actualmente se ha reportado 125 diferentes giberelinas presentes en las plantas superiores y/o hongos. Solo un pequeño número de giberelinas poseen una actividad biológica, mientras que la mayoría son precursores o catabolitos (Rademacher, 2000).

#### 2.7.1.1 Biosíntesis de giberelinas

La biosíntesis de giberelinas en plantas superiores se puede dividir en tres pasos: (1) biosíntesis de *ent*-kaureno en proplástidos, (2) conversión de *ent*-kaureno a GA<sub>12</sub> vía monooxigenasas P450 microsomales y (3) formación de C<sub>20</sub>-GAs y C<sub>19</sub>-GAs en citoplasma. En el segundo paso de la síntesis la GA<sub>12</sub> se convierte a GA<sub>53</sub> mediante 13-hidroxilación y en el tercer paso, GA<sub>12</sub> y GA<sub>53</sub> se convierten a varios intermediarios de giberelinas y giberelinas bioactivas, incluyendo GA<sub>1</sub> y GA<sub>4</sub>, a través de una serie de pasos de oxidación catalizados por dioxigenasas dependientes de 2-oxoglutarato, GA<sub>20</sub>-oxidasas (GA<sub>20</sub>ox) y GA<sub>3</sub>-oxidasas (GA<sub>3</sub>ox). En la Figura 2.7 se muestra el proceso general de la síntesis de giberelinas.



**Figura 2.7. Ruta general de la síntesis de giberelinas (GAs).** (CPS), ent-copalil difosfato sintasa; (KS), ent-kauren sintasa; (GA20ox), GA 20-oxidasa; (GA3h), GA 3 $\beta$ -hidroxilasa; (GA2h), GA 2 $\beta$ -hidroxilasa o GA2-oxidasa; *ga1*, *ga2*, *ga3*, *ga4* y *ga5* son mutantes de la síntesis de GA en *Arabidopsis*. (Hedden y Kamiya, 1997).

### 2.7.1.2. Giberelinas, ambiente y bulbificación

El metabolismo de las giberelinas puede verse afectado por factores ambientales como la temperatura y la luz, mediante el cambio del flujo a través de pasos específicos en la ruta (Hedden y Kamiya, 1997), lo cual puede cambiar las concentraciones de las giberelinas y/o alterar la respuesta a ellas (Davies, 1995; Kamiya y García-Martínez, 1999).

También, 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 día largo (fotoperiodo) y las giberelinas (Kato, 1965; Knypl, 1979; Mita y Shibaoka, 1984).

Le Guen-Le Saos y col. (2002) en su experimento de desarrollo de chalote *in vitro* observaron que bajo condiciones inductivas (luz fluorescente enriquecida con rojo lejano), la presencia de GA<sub>3</sub> exógena impidió la formación del bulbo.

Por otra parte, Mita y Shibaoka (1984) reportaron para cebolla, que las giberelinas estabilizan los microtúbulos y actúan de forma contraria al estímulo de las condiciones de día largo, las cuales reducen el número de microtúbulos y alteran su orientación transversal, lo cual pareciera sugerir un papel de hormona antibulbificante.

La bulbificación se considera un proceso morfogénico y como tal influido directamente por hormonas al igual que el proceso de tuberización (Koda, 1997). En la tuberización, se conoce que es esencial una disminución en el nivel de giberelinas para la formación del tubérculo (Koda y Okazawa, 1983). Se ha comprobado que la tuberización se retrasa con la aplicación de giberelinas (Vreugdenhil y Struik, 1989) y es promovida con retardantes del crecimiento, los cuales inhiben la biosíntesis de giberelinas (Guiñazú y col, 1988), sugiriendo que este proceso es regulado por una relación adecuada de fitohormonas (Jackson y Thomas, 1997).

Los niveles de giberelinas endógenas han sido cuantificados en un sistema de tuberización *in vitro* en relación a los diversos estados de la elongación del estolón y formación del tubérculo de papa (Xu y col., 1998). En éste trabajo se encontró que el contenido de GA<sub>1</sub> en los estolones es alto cuando éstos se encuentran en el proceso de elongación, y disminuye cuando comienzan a hincharse después de la transferencia a condiciones inductoras, es decir, de alta concentración de sacarosa (Xu y col., 1998).

En el caso del ajo, Kim y col. (2003) en una investigación para desarrollar un método para regeneración de brotes múltiples y formación *in vitro* de bulbillos a

partir de callos, encontraron que la adición de ácido giberélico al medio, suprimió significativamente la formación de los dientes. Estos autores sugieren que, ya que el ácido giberélico es conocido como un regulador de crecimiento que promueve la elongación del órgano de una planta, es lógico que sea capaz de suprimir la bulbificación en el ajo, de tal forma que, se vea alterado el balance de las sustancias de crecimiento necesario para la bulbificación a partir de los brotes.

Hasta el momento, para el caso del ajo, no se ha estudiado el efecto de los niveles de giberelinas durante la formación *in vivo* de los bulbos, ni tampoco se conoce el efecto de la interacción de la temperatura de almacenamiento, y temperatura y luz en campo sobre la síntesis de giberelinas y su consecuente acción en el proceso de bulbificación.

### **2.7.1.3. Inhibidores de la síntesis de giberelinas**

Los sistemas de biosíntesis *in vitro* de GAs (sistemas enzimáticos libres de células, en chícharo y calabaza, por ejemplo) han sido utilizados en conjunto con el análisis de giberelinas presentes en plantas intactas, para identificar el punto de interacción de inhibidores en la ruta de biosíntesis de giberelinas (Rademacher, 2000).

Para evaluar el posible papel de las giberelinas, los reguladores de crecimiento se han utilizado ampliamente. El Ancimidol (Ancy) y paclobutrazol (PBZ), son inhibidores que tienen un heterociclo de nitrógeno que inhiben la síntesis de giberelinas a nivel de conversión del ent-kaureno a ácido ent-kaurenoico y se ha reportado su efecto favorecedor en la tuberización de papa bajo días largos y cortos (Simko, 1994; Ochotorena y col., 1999) así como también en almacenamiento de nutrientes en ajo (Le guen-le Saos y col., 2002).

#### **2.7.1.4. Papel de los inhibidores de la síntesis de giberelinas en la bulbificación**

En cuanto al proceso de bulbificación, Rahim y Fordham (2001) señalaron que la aplicación antes de la siembra de inhibidores de síntesis de giberelinas, cicocel y paclobutrazol, favoreció el crecimiento del bulbo y su desarrollo. Además, comentan que en otros trabajos, utilizando estos inhibidores, junto con el ácido abscísico, redujeron el tiempo de inicio de la bulbificación comparado con la acción del ácido giberélico y el bulbo no desarrolló hasta 14 semanas después de la plantación.

Por otra parte, evidencias de alta actividad de giberelinas en bulbos de ajo con rebrotes (anormalidad en la bulbificación) sugieren que los inhibidores de síntesis de giberelinas como el paclobutrazol, podrían tener cierto control sobre este problema (Moon y Lee, 1980). De Resende y *col* (2001), evaluaron la productividad y calidad de bulbos de ajo sometidos a diferentes dosis de paclobutrazol (0, 500, 1000 y 1500 mg/L) y períodos de refrigeración (0, 20, 40 y 60 días a 5 °C), encontrando que la dosis de 1000 mg/L con 40 días de refrigeración generó el menor porcentaje de bulbos con la anomalía de crecimiento secundario o rebrotes (2.5%).

Le guen-le Saos y *col.* (2002) en su trabajo de desarrollo de bulbos de chalote *in vitro*, aplicaron tres inhibidores de la síntesis de giberelinas, ancimidol, flurprimidol y paclobutrazol bajo condiciones de luz fluorescente enriquecida con luz rojo-lejano, observando que el desarrollo de bulbos fue 30-60% más grandes que los controles y que también el ancimidol y paclobutrazol promovieron el desarrollo de las raíces.

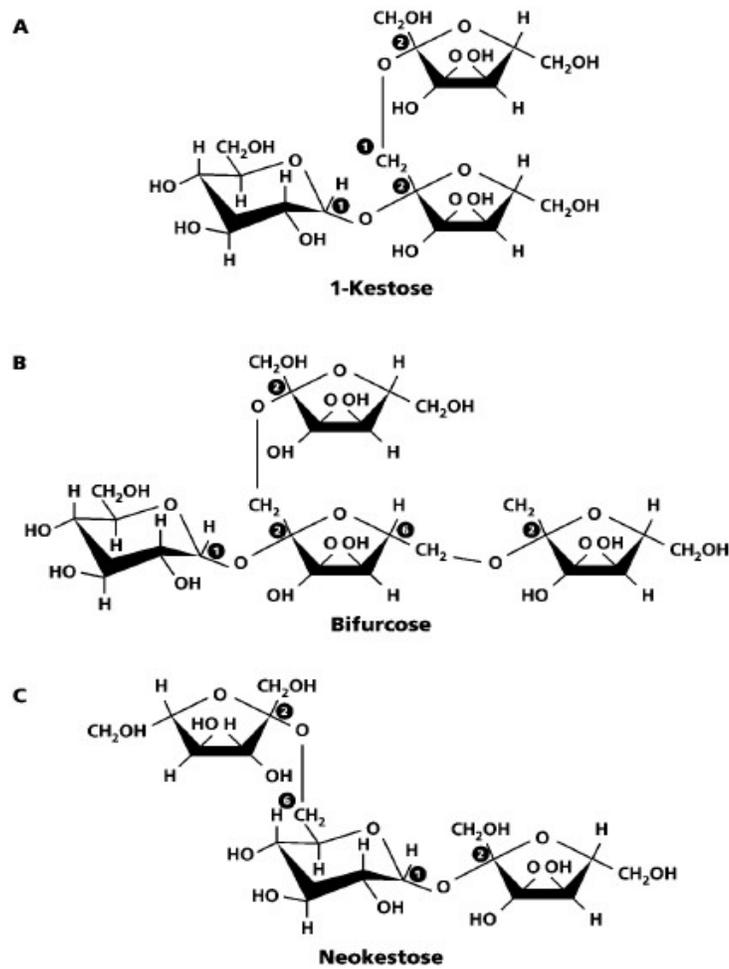
## 2.7.2 Fructanos

Los fructanos, junto con el almidón y la sacarosa, son probablemente los carbohidratos de almacenamiento más abundantes metabolizables encontrados en las plantas (Dey y Harbone, 1997). Los fructanos, son polímeros de fructosa derivados de la sacarosa, que son almacenados si la producción de carbono excede a la demanda, y son movilizados si la planta requiere energía.

En las plantas, los fructanos tienen otras funciones además del almacenamiento de carbono, pues están implicados en la protección de la planta contra el déficit de agua debido a la sequía o a las bajas temperaturas (Hendry y Wallace, 1993; Pilon-Smiths *y col.*, 1995).

Existen órganos especializados para el almacenamiento de los fructanos. Estos compuestos son abundantes en las bases de las hojas de pastos, en la raíz central de chicoria (*Cichorium intibus*), los tubérculos de dalia (*Dalia variabilis*) y los bulbos de tulipán (*Tulipa gesneriana*), cebolla (*Allium cepa*) y ajo (*Allium sativum* L.).

La longitud de la cadena de fructanos (grado de polimerización) en plantas va desde 10 hasta cientos de unidades de fructosa. Los fructanos son sintetizados y almacenados en la vacuola. Los fructanos o polifruetosilsacarosa, son polímeros de fructosa construidos sobre la base de una unidad de sacarosa. Las estructuras de los fructanos más simples se muestran en la figura 2.8.



**Figura 2.8. Estructuras de fructanos cortos. (A) kestosa, (B) bifurcosa, (C) neokestosa. (Ritsema y Smeekens, 2003).**

En la familia Liliaceae (donde anteriormente se encontraba el ajo) existe un tipo de fructano del tipo inulina, llamado neo-series y que se almacena en el bulbo. En las neo-series de inulina, dos cadenas de fructosas ligadas por enlaces  $\beta(1-2)$  se encuentran unidas a una unidad de sacarosa (Ritsema y Smeekens, 2003).

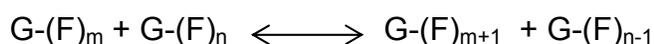
### 2.7.2.1 Biosíntesis de fructanos

El proceso de biosíntesis de fructanos lo cataliza un sistema enzimático multifuncional; este consiste de una serie de reacciones de transfructosilación

llevadas a cabo en la vacuola. En el primer paso, la enzima sacarosa: sacarosa fructosiltransferasa (SST) cataliza la transferencia de un residuo de fructosa entre dos moléculas de sacarosa de manera irreversible para formar 1-kestosa y glucosa:



La 1-kestosa producida puede servir como aceptor de un residuo fructosil terminal, transferido a partir de otras cadenas de fructanos donadoras, esta reacción es catalizada por la fructano: fructano fructosiltransferasa (FFT) (Dey y Harborne, 1997):



De acuerdo con esta reacción, se van generando los diferentes fructanos con diferentes grados de polimerización. Para la síntesis de fructanos en plantas, Ritsema y Smeekens (2003) comentan que de manera general, la 1-SST es la enzima clave en la biosíntesis de fructanos.

### **2.7.2.2 Fructanos y aspectos de salud**

Desde hace una década los fructanos se reconocen como un componente benéfico para la salud, por ello los alimentos que los contienen se consideran alimentos funcionales. Constituyen una fibra alimenticia fermentable por la microflora intestinal de manera selectiva, por lo que también se les llama alimentos prebióticos (Ritsema y Smeekens, 2003). En el ajo, los fructanos constituyen cerca del 75% de la materia seca (Baumgartner y col., 2000).

Los fructanos tienen diversos efectos promotores de la salud, especialmente, el crecimiento de especies de *Lactobacilli* y *Bifidobacteria* (Ritsema y Smeekens, 2003). Los fructanos también promueven la reabsorción de calcio y

magnesio, lo cual ha demostrado una elevación de la densidad del hueso fémur en ratas (Sholz-Ahrens y col., 2003). Incluso se ha observado una disminución en los niveles de insulina, colesterol, fosfolípidos y triacilglicerol en suero de ratas y humanos bajo consumo de estos compuestos (Jackson y col., 1999).

### **2.7.2.3 Fructanos y bulbificación**

Se ha reportado que al inicio de la bulbificación, existe acumulación de carbohidratos en las bases de las hojas (Butt, 1968; Lercari, 1982). Además se han observado incrementos en la concentración de fructanos en plantas de cebolla expuestas a condiciones inductivas de bulbificación, incluso antes de que los bulbos comiencen a hincharse notoriamente (Brewster, 1994).

Le Guen-Le Saos y col. (2002) en su estudio de formación de bulbos de chalote *in vitro*, encontraron que la aplicación de ancimidol en el medio de cultivo indujo una disminución de 66% en el contenido de sacarosa en las bases de las hojas, e incrementó las cantidades de glucosa, fructosa y fructanos en 188, 274 y 131%, respectivamente. Este trabajo destacó la importancia que tiene el evaluar el efecto de estos inhibidores en la síntesis de fructanos. Aunque no se conoce que efecto podría tener este tipo de compuestos en la actividad enzimática de la sacarosa-sacarosa fructosiltransferasa, por ejemplo este conocimiento, podría permitir establecer una relación entre giberelinas y niveles de fructanos.

Aunado a lo anterior, no se conoce qué cambios se dan en la síntesis de fructanos y su acumulación en el bulbo asociados a los cambios en las actividades de las enzimas de síntesis de estos compuestos. Tampoco se conoce cómo se ve afectada esta síntesis por los factores ambientales y otras hormonas.

Este trabajo aporta información a dos niveles: Uno tecnológico que identifica los efectos de la temperatura de almacenamiento de la 'semilla', la localidad y fecha de siembra así como de la aplicación de inhibidores de la síntesis

de giberelinas, en el desarrollo de la planta y calidad de bulbos de ajo. El otro es a nivel de conocimiento básico respecto de los efectos del termo fotoperiodo en la en la acumulación de fructanos.

### III. JUSTIFICACIÓN

De forma tradicional, en el Estado de Aguascalientes se ha procedido a la siembra de ajo en el mes de Octubre por las condiciones climáticas que ocurren en ese mes. No obstante, no se tiene la suficiente información y conocimiento técnico fisiológico necesario para señalar las fechas de siembra más adecuadas ni cuales microregiones ofrecen las mejores posibilidades de desarrollo de este cultivo haciendo con ello más difícil la introducción de una variedad producida en una región a otra microregión. Aunado a ello, hay falta de conocimiento del proceso de bulbificación en especial de ajos morados que permita fijar la serie de factores y elementos a manipular para poder definir estrategias tecnológicas para aplicarlas en el campo.

Aunque el estado de Aguascalientes cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para la producción de ajos blancos, los productores recurren a la importación de semilla de Estados Unidos producida en climas más fríos observando que la calidad de las cosechas es mejor pero que ésta se deterioran a medida que se resiembra la semilla en subsecuentes temporadas teniendo que recurrir nuevamente a la importación. No obstante, en el caso de la variedad 'Perla', aunque del mismo origen, ya se ha adaptado a la región y produce su semilla sin ningún problema de calidad. La introducción de variedades moradas o jaspeadas producidas en los Estados de Guanajuato y Zacatecas ha tropezado con problemas de adaptación reflejadas en una pobre calidad de las cosechas. Los antecedentes anteriormente expuestos, permitieron suponer que la manipulación de las condiciones de almacenamiento de la semilla y de las fechas de siembra, podrían dar bases tecnológicas para diseñar los procedimientos de almacenamiento en distintas microregiones para obtener la calidad con una buena adaptación.

En las regiones productoras de ajo en México, el proceso de bulbificación de ajo no está suficientemente estudiado y muchos de los procesos bioquímicos

que ocurren no están documentados y también son escasos los estudios que relacionan el efecto de la temperatura y luz (calidad e intensidad) con la bulbificación.

Durante la bulbificación y la brotación hay una gran acumulación y demanda de los carbohidratos de reserva (fructanos) respectivamente, es posible que ocurra una gran demanda de sustratos precursores para la biosíntesis y degradación de este polisacárido (sacarosa y fructosa), que al mismo tiempo demanda una mayor actividad de las rutas del metabolismo de carbohidratos. No obstante, los estudios al respecto son escasos.

El presente trabajo pretende aportar información para configurar los mejores procedimientos de manejo de los factores ambientales (temperatura de almacenamiento), la fecha siembra, la aplicación de un inhibidor de la síntesis de giberelinas en dos microregiones. A través de experimentos independientes se investigó el efecto de la temperatura de desarrollo de la planta en la acumulación de fructanos.

## **IV OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Determinar el efecto de las condiciones de almacenamiento de la “semilla” (5 °C.), la fecha de siembra, la localidad y la aplicación de un inhibidor de giberelinas, en el desarrollo de la planta y bulbo y en su calidad, así como el efecto de temperaturas controladas en la acumulación de fructanos en ajo.

### **4.2 Objetivos Específicos**

#### **4.2.1 ETAPA I**

1. Caracterizar los cambios en el desarrollo de la planta e índice de bulbificación, respecto de la temperatura de almacenamiento (5 °C) de la semilla, la fecha de siembra, la localidad y la aplicación del inhibidor de la síntesis de giberelinas.

2. Determinar el efecto de los anteriores factores en la calidad del bulbo de ajo y establecer la correlación de ésta con los factores ambientales y tratamientos aplicados.

3. Establecer las relaciones de temperatura y cantidad de luz (factores ambientales) de los tratamientos mencionados sobre el índice de bulbificación.

#### **4.2.2 ETAPA II**

4.- Determinar el efecto de distintos termo fotoperiodos sobre la acumulación de fructanos durante el desarrollo y crecimiento de la planta.

## V. METODOLOGÍA

### 5.1 ETAPA I

#### 5.1.1 Diseño del experimento

De forma conjunta con los productores de la zona, se eligieron dos localidades que podrían tener interés para llevar a cabo las plantaciones. En cada una de ellas se plantó ajo de la variedad “Coreano” en un experimento que incluyó cuatro factores:

Por ello el experimento fue un diseño completo  $2^4$  de cuatro factores a dos niveles cada uno

#### 5.1.2 Factores a estudiar:

Localidad: La Punta en el municipio de Cosío (L1) y Las Águilas en el municipio de Rincón de Romos (L2).

Fecha de siembra: 19 de Septiembre de 2006 (F1) y 3 de Octubre del mismo año (F2)

Temperatura de almacenamiento de la semilla: Ambiente (19 a 28 °C) y 5 °C durante 15 días.

Aplicación de Paclobutrazol o PBZ: Con o sin 1000 ppm de paclobutrazol.

#### 5.1.3. Variables de respuesta:

- Altura de la planta.
- Peso de la planta

- Diámetro del bulbo
- Diámetro del cuello
- Índice de Bulbificación (Relación entre el diámetro del cuello y el diámetro del bulbo)

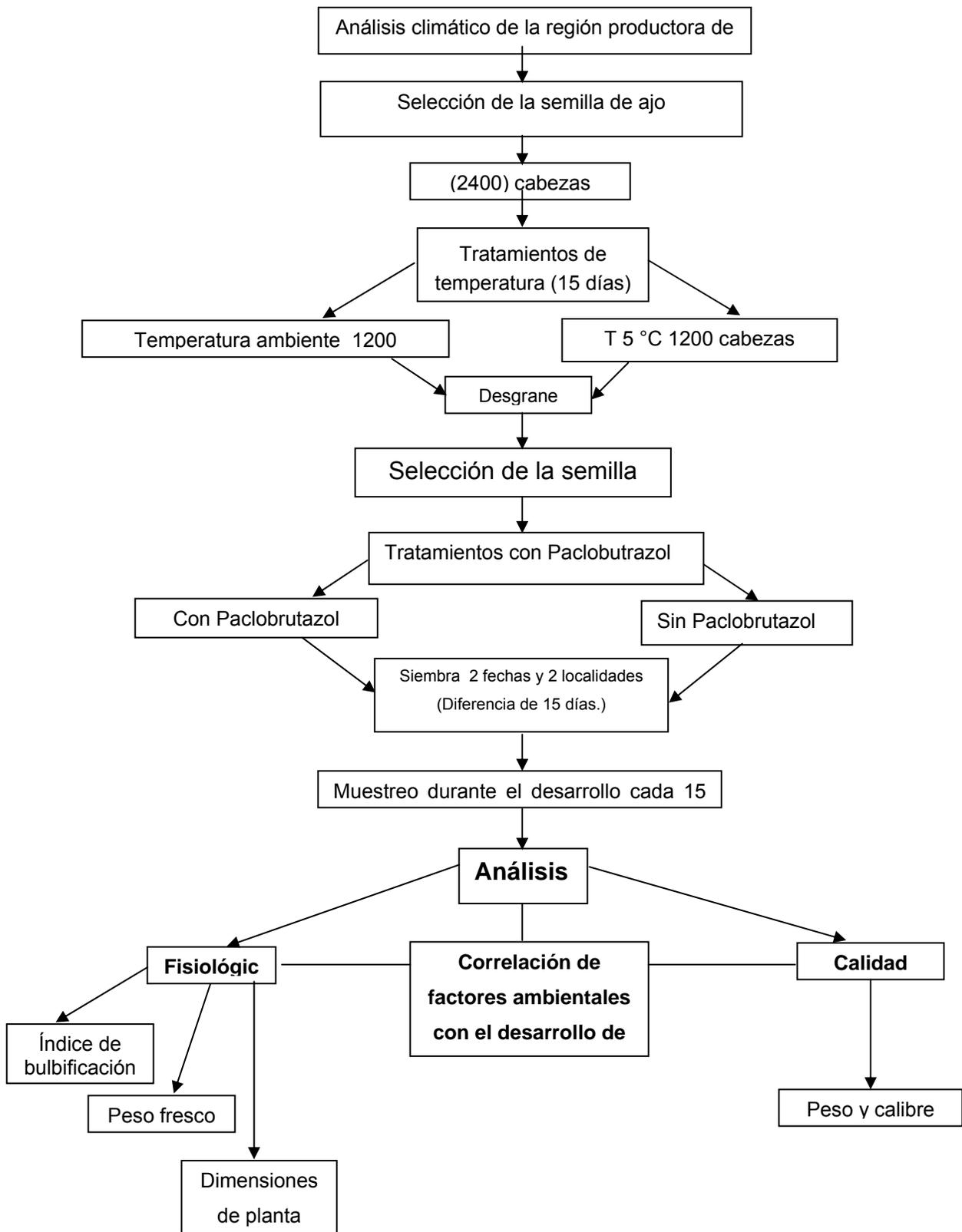
La unidad experimental fue una planta con diez réplicas (10 plantas). Las diferencias estadísticas entre los tratamientos fueron determinadas a través de un análisis de varianza en diferentes periodos del desarrollo de la planta y la comparación de medias se realizó a través de la prueba de Tukey con  $\alpha = 0.05$ . Utilizando el paquete estadístico JMP 5.0

#### **5.1.4 Estrategia general**

La estrategia general seguida se concentra en la Figura 5.1. Esta incluyó: la selección de los sitios de muestreo; la obtención de la semilla para realizar los experimentos, aplicación de los tratamientos de almacenamiento; una vez terminados estos, se procedió a desgranar los bulbos y seleccionar aquellos dientes que tuvieran un tamaño medio o grande. Después de su selección, los dientes fueron mezclados y contados para distribuir de forma homogénea el número de dientes a sembrar para cada tratamiento. Cada conjunto, fue posteriormente sanitizados para evitar ataques de plagas en campo (inmersión en diferentes soluciones de Basudin y Folicur (15 min), seguidos de una inmersión en un regulador de pH (Buffex) durante 30 min y finalmente en una solución de Agrimicin durante 30 min. Para los tratamientos que fueron tratados con PBZ, este compuesto se aplicó en la misma solución de Agrimicin.

Las aplicaciones anteriores se realizaron un día antes de la siembra, la siembra se realizó en un huerto comercial en surcos a doble hilera con una distancia entre dientes de 7 cm. La separación entre cada surco fue de 85 cm. El programa de riego fue similar al cultivo comercial seguido por el productor donde se sembraron los experimentos. Durante tres semanas se registró el porcentaje

de plantas emergidas; después del 100% de emergencia y durante el desarrollo del cultivo, se realizaron nueve muestreos. En cada muestreo y en cada tratamiento, se tomaron diez plantas al azar para ser evaluadas en el laboratorio



**Figura 5.1 Estrategia experimental seguida durante la Etapa I**

En cada surco de cada tratamiento se dejaron 10 metros lineales en los que no se tomaron plantas durante los nueve muestreos; esta sección se destinó para que al final de la cosecha se realizaran las evaluaciones de rendimiento por hectárea y las evaluaciones de calidad de los bulbos.

## **5.2 Etapa II: Efecto de la temperatura de crecimiento en la acumulación de fructanos.**

Esta etapa se desarrolló en el laboratorio de Genomic Ecology of Global Change (**GEGC**) en el departamento de Plant Biology de la Universidad de Illinois en la Cd de Urbana a cargo del Dr. Don Ort.

Con los experimentos de la Etapa I, y bajo condiciones de campo (sin control de los factores ambientales) se buscó correlacionar los factores de crecimiento de la planta con los factores ambientales como la intensidad de luz y fotoperiodo así como con la temperatura ambiente. Dado que el efecto del fotoperiodo e intensidad de luz sobre el desarrollo de la planta posiblemente no actúen de forma independiente y exista una interacción entre ellas, en esta Etapa se decidió estudiar el efecto del factor temperatura precosecha durante el crecimiento de la planta en la acumulación de fructanos manteniendo un fotoperiodo similar al desplegado en la zona de Rincón de Romos Aguascalientes. La decisión de evaluar la acumulación de fructanos se basó en que éstos son el principal carbohidrato de reserva en el ajo (por lo tanto de gran importancia para la bulbificación) y constituye el 70% de la materia seca de los bulbos y por ello de gran interés en la formación de los mismos.

Bulbos de ajo “California Late” adquiridos de un almacén comercial de la ciudad de Urbana Illinois fueron puestos a 22 °C durante cuatro días, posteriormente todos los bulbos fueron desgranados y los dientes almacenados a 10°C durante tres semanas. Del conjunto total de dientes, se seleccionaron 300 dientes de mayor tamaño que se dividieron en cuatro lotes de 75 dientes cada

uno. Cada conjunto, se sembró, el 6 de abril del 2007, en macetas de plástico de 1000ml con top soil como suelo y finalmente cada conjunto de 75 macetas fueron llevadas a las correspondientes cámaras de crecimiento con sus respectivas condiciones de temperatura y fotoperiodo indicadas para cada tratamiento.

El plan experimental bajo el que se desarrolló esta etapa se concentra en el Cuadro 5.1. Se eligieron cuatro diferentes temperaturas; 0, 5, 10 y 22 °C. Las temperaturas 0, 5 y 10 °C; se aplicaron durante un mes de desarrollo y solo durante el periodo de oscuridad diario (11 horas). Durante los periodos de luz (13 horas), los tres tratamientos estuvieron a 16°C y así constituyeron los tratamientos T1, T2, y T3. Al final de 30 días, los tres tratamientos se sometieron a 10 °C durante la noche u oscuridad (11 horas) y 22 °C durante el día (13 horas); estas condiciones se mantuvieron hasta la cosecha. El cuarto conjunto de 75 macetas (tratamiento T4) estuvo sujeto a 22 °C durante todo el desarrollo de la planta y recibió los mismos fotoperiodos aplicados a los demás tratamientos. La extensión de los fotoperiodos fue tomada de los fotoperiodos que se encuentran en el municipio de Rincón de Romos Ags en los meses de Diciembre (fotoperiodo corto) y Abril (fotoperiodo largo)

La intensidad de la luz aplicada en las cámaras fue de  $450 \pm 10 \mu\text{E}$  ( $\mu \text{ mol photons m/s}^2$ ). Usando lámparas fluorescentes e incandescentes en cámaras de crecimiento de la marca EGC serie M31-15

**Cuadro 5.1. Estrategia experimental utilizada en la Etapa II**

Tratamiento	Mes						
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
	3 semanas (Sin suelo)	Inicio del tratamiento De bajas temperaturas (Con suelo)	<b>Crecimiento (Con suelo)</b>				15 días curado
T1	10 °C, Oscuridad	5 °C, 13 h Noche 16 °C, 11 Día	10° C, 11 h noche 22° C, 13 h Día				TA
T2	10 °C, Oscuridad	0 °C, 13 h Noche 16 °C, 11 h Día	10 °C, 11 h noche 22 °C, 13 h Día				
T3	10 °C, Oscuridad	10° C 13 h Noche 16 °C 11 h Día	10 °C, 11 h noche 22 °C, 13 h Día				
T4	10 °C, Oscuridad	22° C 13 h Noche 22° C 11 h Día	22 °C, 11 h noche 22 °C, 13 h Día				
	Desarrollo del bulbo 3 plantas c/3 semanas						Análisis de Carbohidratos (Fructanos)

Las plantas fueron fertilizadas semanalmente con una fórmula de fertilización 20:20:20 (N:P:K) esta formula fue diluida a una concentración de 250 mg L<sup>-1</sup> aplicando 50 ml por maceta e iniciando la fertilización después de tres semanas de la fecha de siembra (Bandara *et al* 2000)

Después de establecidas las condiciones de crecimiento de los diferentes tratamientos, se hicieron 7 muestreos para los tratamientos T1,T2 y T3, mientras que para T4 únicamente se hicieron 5 debido a que su ciclo de cultivo fue más corto. El programa de muestreo se indica en el Cuadro 5.2.

**Cuadro 5.2 Programa de muestreo para el análisis de contenido de fructanos, en hojas.**

<b>Muestro</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Días después de la siembra(6-Abr-2007)</b>	<b>Fecha del muestro</b>	<b>Días del año (2007)</b>
1	T1,T2,T3, T4	33	9 Mayo	129
2	T1,T2,T3, T4	54	30 Mayo	150
3	T1,T2,T3, T4	74	19 Junio	170
4	T1,T2,T3, T4	95	10 Julio	191
5	T1,T2,T3, T4	109	24 Julio	205
6	T1,T2,T3	118	2 Agosto	214
7	T1,T2,T3	124	8 Agosto	220

T1 = tratamiento (5°C), T2 = tratamiento 2 (0 °C), T3 = tratamiento 3 (10 °C) y T4 = tratamiento 4 (22 °C).

El diseño estadístico aplicado fue un modelo unifactorial en el que el único factor a estudiar fue la temperatura de desarrollo y comparando las medias de cada tratamiento en cada uno de los periodos de muestreo utilizando el paquete estadístico JMP 5.1

### **5.2 1 Variables respuesta y Unidad experimental:**

La única variable de respuesta fue la acumulación de fructanos en las hoja de las plantas analizadas. La unidad experimental fue una planta con tres repeticiones para cada muestreo y tratamiento.

## **5.3 Métodos aplicados.**

### **5.3.1. Material biológico para estudios de campo**

Mediante la colaboración de los productores de la región de Rincón de Romos Aguascalientes, se seleccionó semilla de ajo 'Coreano' procedente del estado de Zacatecas, con perspectivas de introducción a la región productora ya mencionada.

### **5.3.2 Selección de huertos para experimentación y fecha de siembra**

Con la ayuda de los productores de la región y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Pabellón, se realizó la localización geográfica de las regiones productoras de ajo'. Posteriormente, se identificaron las estaciones climáticas más cercanas a la región productora previamente seleccionada.

Mediante un análisis comparativo de datos climáticos proporcionados por las estaciones, se seleccionó la región con características climáticas determinadas (altitud, latitud y temperatura), para introducción de esta variedad por primera vez.

El día de la siembra se hizo la medición de las coordenadas geográficas de cada parcela. La localidad L1 fue La Punta en el municipio de Cosío y la localidad L2 se ubicó en la comunidad de Las Águilas del municipio de Rincón de Romos Aguascalientes. Los tratamientos fueron sembrados con 15 días de diferencia. La fecha uno (F1) fue el día 19 de septiembre de 2006 y la fecha 2 (F2) fue el 3 de Octubre del mismo año. El sistema de riego utilizado en ambas localidades fue riego rodado.

### **5.3.3 Análisis climático de las zonas bajo estudio en Rincón de Romos Ags.**

Habiendo seleccionado la región en estudio, se llevó a cabo el registro diario de los datos climáticos (proporcionados por las estaciones Climatológicas de INIFAP más cercanas a las zonas) a través de la página <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>, dentro del estado de Aguascalientes se eligieron las estaciones climatológicas de Los Pinos cuyas coordenadas geográficas son 22° 19' LN y 102° 13' LW y Makelisa con coordenadas 22° 13' LN y 102° 16' LW donde se registraron las temperaturas máximas, mínimas y promedio así como la máxima intensidad de irradiación solar diaria ( $\text{watts/m}^2$ ).

El fotoperiodo fue determinado a partir de las coordenadas geográficas de las estaciones climatológicas señaladas que fueron alimentadas al programa de cálculo del Astronomical Applications Department del US Naval Observatory en la página. [http://aa.usno.navy.mil/cgi-bin/aa\\_durtablew.pl](http://aa.usno.navy.mil/cgi-bin/aa_durtablew.pl)

### **5.3.4. Porcentaje de emergencia de plantas**

Cada 15 días después de cada fecha de siembra y durante 45 días, se evaluó el porcentaje de plantas emergidas, respecto de las plantas sembradas.

### **5.3.5. Medición de variables de respuesta durante el desarrollo de la planta.**

A partir de la completa emergencia de las plantas y durante el desarrollo de las mismas se realizaron un total de nueve muestreos; en cada uno de los cuales se tomaron 10 plantas de cada tratamiento que fueron llevadas al laboratorio donde se determinó el peso fresco (gr), altura de planta (cm), ancho de la base de las hojas, número de hojas de cada planta, diámetro del bulbo (db), diámetro del cuello (dc) e índice de bulbificación (IB) calculado con la siguiente expresión.

$$IB = db/dc$$

Cuando el valor de este índice fue mayor que 2, se consideró que la bulbificación había iniciado (Clark y Heath, 1962).

### **5.3.6. Evaluación de calidad de bulbos**

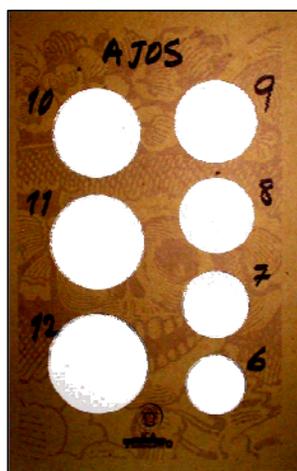
Al final del ciclo de cultivo, los cinco metros de plantas de cada tratamiento que fueron separadas para las evaluaciones de rendimiento, fueron arrancados de acuerdo con la práctica comercial establecida por los productores y llevadas a un lugar protegido del sol con suficiente aireación por dos semanas (curado de los bulbos). Una vez terminado el proceso de curado, cada bulbo fue cortado del follaje y reunidos para llevar a cabo la clasificación de todos ellos y separar los bulbos con defectos.

#### **5.3.6.1. Clasificación por calibre**

El tamaño o calibre de los bulbos se determinó utilizando una plantilla de calibres de los bulbos (Figura 5.2) proporcionado por los productores que consiste en una placa de papel grueso con círculos perforados de distintos de diámetros que corresponden a los distintos calibres comerciales establecidos. En el Cuadro 5.3 se muestran las equivalencias de los distintos calibres a su diámetro en cm.

**Cuadro 5.3 Escala de calibres determinados de acuerdo al diámetro del bulbo de ajo**

CALIBRE	DIAMETRO DEL BULBO (cm)
< menor de 6	4
6	4.5
7	5
8	5.5
9	6
10	6.5
11	7
12	7.5
>12	> 7.5



**Figura 5.2. Plantilla de calibración de bulbos de ajo.**

### 5.3.6.2 Rendimiento por hectárea, Total y por calibre

Una vez clasificado cada uno de los tratamientos por calibre y defectos; los bulbos de cada calibre se contaron y se pesaron y con estos datos se hizo el cálculo para expresar la producción en kilogramos por hectárea. Tanto la suma de los bulbos y los pesos de calibre y con sí como los clasificados como defectos

fueron utilizadas para el cálculo del rendimiento global de cada tratamiento. Para el cálculo por hectárea, se tomó en cuenta que las plantas fueron sembradas a una distancia de 7 cm entre planta y planta y en surcos de doble hilera separados 85 cm uno de otro.

#### **5.3.6.3. Presencia de defectos**

Se observaron las características visuales de los bulbos cosechados, identificando la presencia de bulbos de ajos ‘bombones’ o “acebollados” o la ausencia de dientes formados, mal llenados (falta de madurez), bulbos irregulares, dañados mecánicamente. Con el peso de estos ajos y el peso total del tratamiento se obtuvo el porcentaje de ajos defectuosos.

#### **5.3.7. Cuantificación de Fructanos en hojas**

La cuantificación de fructanos totales se realizó mediante el método enzimático y espectrofotométrico usando el Kit de Megazyme fructans HK assay (AOAC método 999.03 y ACC método 32.32.). El cual se basa en el siguiente principio general:

La sacarosa y polisacáridos de bajo grado de polimerización se hidrolizan a glucosa y fructosa mediante una mezcla de enzimas específica que contiene invertasas y maltasas. Después de un ajuste de pH, las muestras se analizarán para glucosa y fructosa (A) o son tratadas con una fructanasa (que hidroliza los fructanos a fructosa y glucosa) y después analizada para estos mismos azúcares (B). La concentración de glucosa más fructosa se mide con un sistema enzimático que contiene hexoquinasa, fosfo glucosa isomerasa, glucosa 6P deshidrogenasa. Finalmente el contenido de fructanos se determinó por la diferencia de B-A.

Los procedimientos de extracción, hidrólisis y cuantificación y sus cálculos se describen en los siguientes párrafos:

#### **5.3.7.1 Extracción de los fructanos**

Durante los muestreos de la Etapa II, se tomaron tres plantas, de cada tratamiento, elegidas por medio de la herramienta de aleatorización de Excel (Microsoft) mediante el número de maceta ya que todas estaban numeradas del 1 al 300, dando un total de 12 plantas por muestreo. Estas fueron trasladadas al laboratorio donde se tomaron muestras de la tercer hoja más joven de la planta (regularmente era la más grande y fuerte). Por medio de un sacabocados de 1.2 cm de diámetro se tomaron diferentes discos de hoja que fueron inmediatamente puestas en bolsas de papel aluminio, rotuladas y congeladas en nitrógeno líquido con el objeto de detener, lo más pronto posible, el metabolismo de la hoja; después de congeladas las muestras, se almacenaron a -80 °C para posteriormente liofilizarlas.

Las muestras de hojas liofilizadas fueron molidas en mortero hasta obtener un polvo de aproximadamente 0.05 mm de tamaño de partícula. De este polvo, se pesaron 50mg de muestra en vaso de precipitados al cual se agregaron 25 mL de agua destilada pH = 6.00 a 80 °C. La extracción se llevó a cabo a 80 °C por 15 min con agitación constante y asegurando que la muestra estuviera dispersa completamente.

Después de los 15 min se dejó enfriar a temperatura ambiente y se transfirió a un matraz aforado de 25 mL llevando a volumen con agua destilada manteniendo homogénea la muestra. Enseguida se filtró la solución a través de papel Watman No. 1 y analizado inmediatamente, cuando la solución se mantenía turbia ésta se filtró adicionalmente con papel de fibra de vidrio (GF/A).

### **5.3.7.2 Hidrólisis de sacarosa y fructanos de bajo grado de polimerización**

El contenido de fructanos totales fue determinado por duplicado usando el kit (Megazyme fructan HK Assay), los detalles completos se encuentran en el manual de uso del kit. Brevemente, el procedimiento involucra dos reacciones paralelas. En la muestra A (A1) toda la sacarosa y maltosacáridos de bajo grado de polimerización son removidos vía hidrólisis usando una mezcla de enzimas sacarasa/maltasa de alta especificidad (HK/PGI/G-6PDH), para descargar toda la glucosa y fructosa.

En celdas de plástico, se hicieron dos alícuotas de la muestra A, a una de las cuales se le agregó fructanasa (para la reacción Ar) y a la segunda se agregó acetato de sodio como buffer (blanco Ab) enseguida esta solución se incubó para efectos de acelerar y finalizar la hidrólisis de fructanos a fructosa y glucosa.

La muestra B fue tratada con fructanasa purificada la cual hidroliza fructanos a glucosa y fructosa, la concentración de glucosa y fructosa es medida con un sistema hexokinasa / fosfoglucoasa isomerasa (PGI) / glucosa 6-fosfato deshidrogenasa. La concentración de fructanos se midió por la diferencia de contenidos de azúcares entre la muestra A y la muestra B.

### **5.3.7.3 Medición y cuantificación de glucosa y fructosa en la mezcla**

La concentración de glucosa y fructosa se midió espectrofotométricamente en las mezclas de reacción. A las soluciones Ar y Ab se les adicionó agua destilada, NADp<sup>+</sup>/ATP y buffer dando un volumen final de 2.62 ml en celdas de plástico con capacidad de 3ml, se incubó temperatura ambiente, aproximadamente después de tres minutos de haber preparado la mezcla se midió la absorbancia a 340 nm a esta lectura se le denominó A1. Para determinar la concentración de glucosa más fructosa se utilizó el sistema HK/PGI/G-6-PDH y

después de 10 a 15 min de reacción se midió la absorbancia a 340 nm (A2) hasta que la lectura fue estable, de modo que la concentración de fructanos se determino con la diferencia entre A1 y A2, es decir, determinar la diferencia de absorbancia mediante la diferencia A2-A1 para el blanco (Ab) y la muestra (Ar) obteniendo así el  $\Delta A$  fructan, valor que se usó en la siguiente fórmula para realizar el cálculo final de gr de fructanos por cada 100 grs de muestra (% W/W).

$$\%w/w = \Delta A_{\text{fructan}} * F * 5 * 0.9/0.2 * V * 100/W * 1/1000 * 162/180$$

$$\%w/w = \Delta A_{\text{fructan}} * F/W * V * 2.025$$

Donde:

$$\Delta A_{\text{fructan}} = [ \Delta(A_2-A_1)_{\text{reacción}} ] - [ \Delta(A_2-A_1)_{\text{blanco}} ]$$

**F** = Factor para convertir valores de absorbancia  $\mu\text{g}$  de D-fructosa  
 =  $(50 \mu\text{g D-fructosa}) / (\text{absorbancia para } 50 \mu\text{g D-fructosa})$

**5** = Factor para convertir de 0.2 ml analizados a 1.0 mL

**0.9/0.2** = 0.2 mL fueron tomados de 0.9 mL de enzima para el análisis

**V** = volumen (mL) de extracto usado (i.e. 25 mL)

**W** = Peso (mg) de muestra extraída

**100/W** = Factor para expresar los fructanos como porcentaje de peso de la muestra

**1/1000** = Factor de conversión de  $\mu\text{g}$  a mg

**162/180** = Factor para convertir de D-fructosa libre y glucosa a anhidrofructosa e hidrogucosa como ocurre en fructanos.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

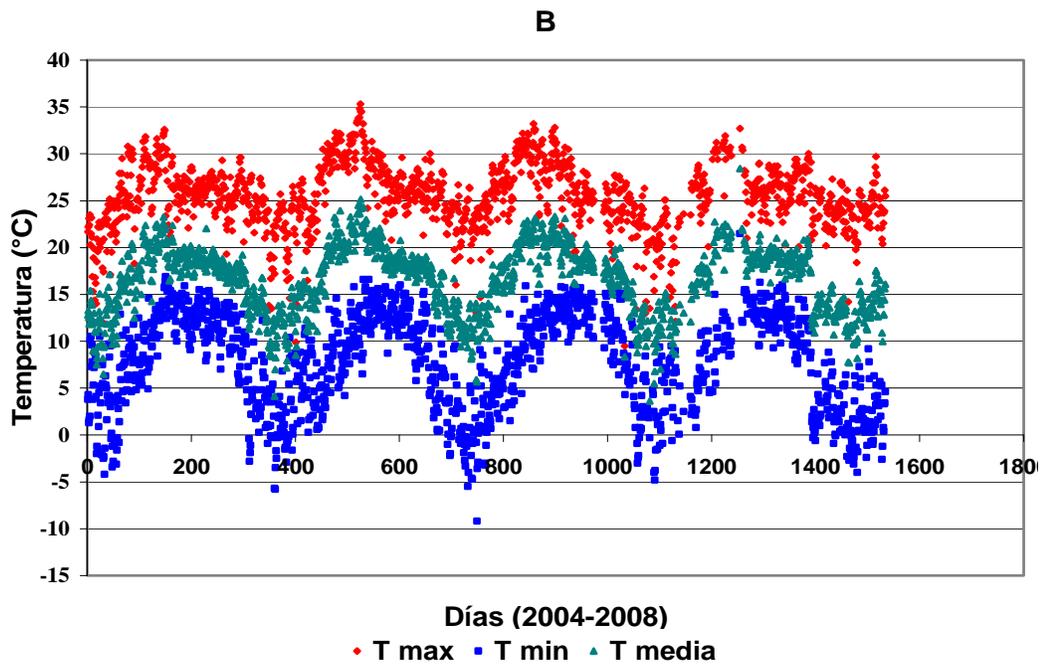
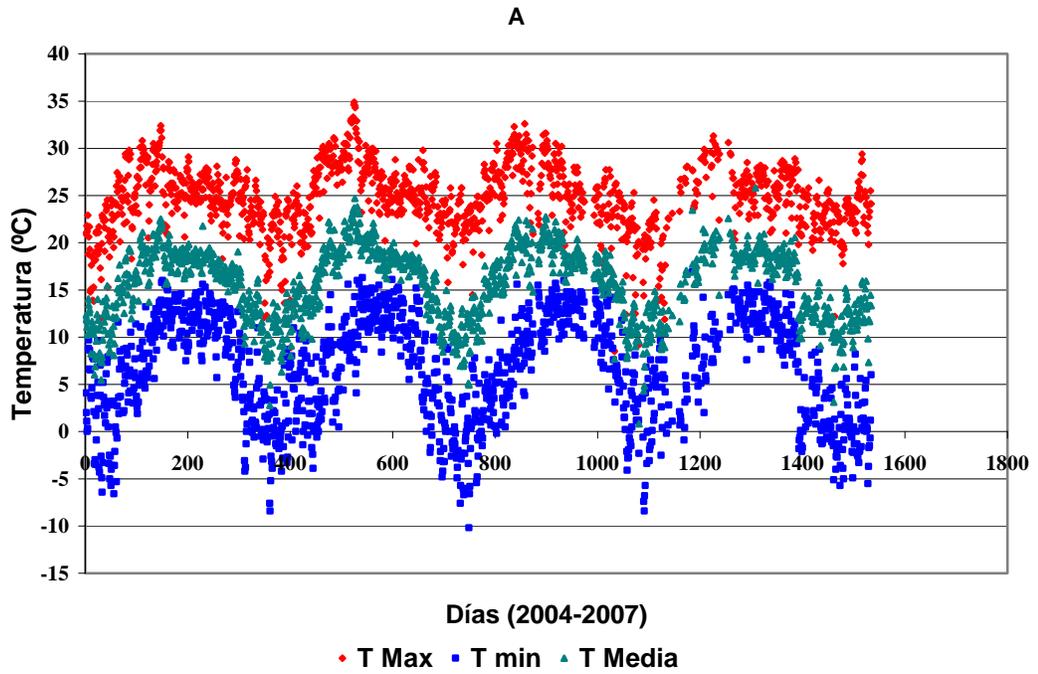
### 6.1 Análisis climático de la zona de producción

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en su Campo Experimental de Pabellón de Arteaga Aguascalientes, dispone del Laboratorio de Modelaje y Sensores Remotos que mantiene una serie de estaciones climatológicas en diferentes estados de la República incluido el Estado de Aguascalientes; donde se eligieron aquellas estaciones colocadas en la zona Norte del estado (Municipios de Rincón de Romos, Cosío y Tepezalá) cuyas áreas tienen posibilidades de implantar cultivos de ajos morados o jaspeados. Dichas estaciones se muestran en el Cuadro 6.1 con sus correspondientes coordenadas geográficas, su ubicación municipal y el propietario del predio donde se encuentran dichas estaciones.

Cuadro 6.1. Estaciones climatológicas en el estado de Aguascalientes.

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Municipio</b>	<b>Productor</b>
Potrerito	22° 21' 49"	102° 17' 30"	Cosío	INAGUA
Los Pinos	22° 19' 13"	102° 13' 30"	Ri. de Romos	José L. Ramírez
Makelisa	22° 13' 3"	102° 16' 29"	Tepezalá	Mario Sutti Osorio
CEPAB	22° 9' 54"	102° 42' 7"	Pabellón de A.	INAGUA
Don Primo	22° 29' 36"	102° 15' 16"	Pabellón de A	Carlos Narvaez

Las Figuras 6.1 muestran los registros de dichas temperaturas de las estaciones Los Pinos y Makelisa que fueron las más cercanas a los campos de cultivo donde se establecieron los experimentos.



**Figura 6.1. Temperaturas de la estación Los Pinos (A) y Makelsa (B) desde Enero del 2004 a Marzo 2007.**

En términos generales, ambas zonas muestran el comportamiento estacional anual clásico de cada zona de estudio. Para el año de 2004 y 2005 la estación de Makelisa mostró temperaturas promedio anuales máximas de 25.13 y 26.17 °C respectivamente, mientras que las temperaturas mínimas promedio anuales se ubicaron alrededor de 8.4 y 8.0 °C para los mismos años y sus temperaturas promedio anuales se ubicaron en 16.4 y 17.0 °C. La estación Los Pinos mostró temperaturas menores que las registradas para la estación Makelisa (24.3 y 25.3; 7.2 y 6.8 y 15.1 y 16.1 °C para las máximas, mínimas y promedio respectivamente), en los mismos años señalados.

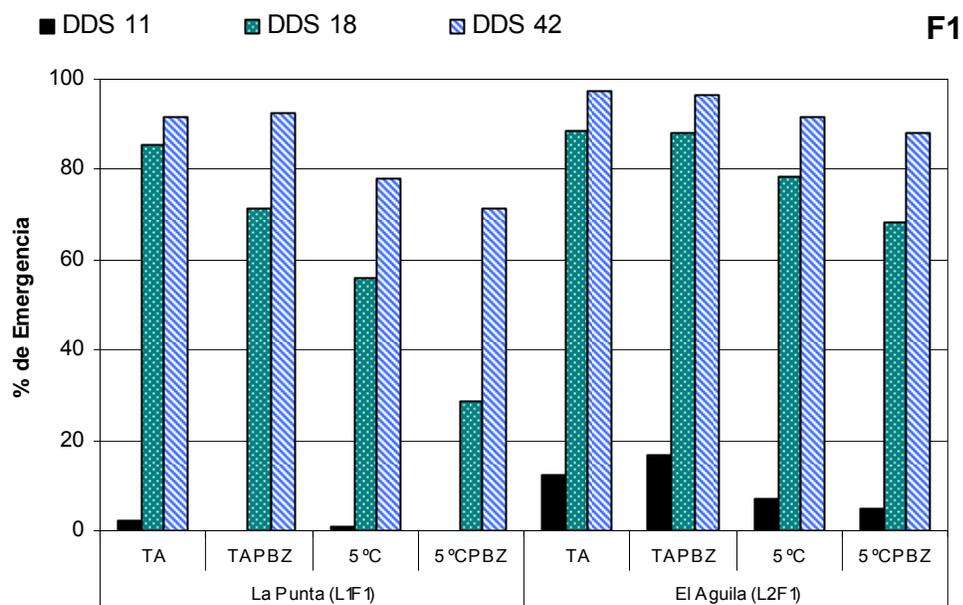
## **6.2 Emergencia de plantas**

Dentro de este experimento se planteó la idea que dando un almacenamiento de 15 días a 5 °C se podría dar un requerimiento de frío que posteriormente se traduciría en una mejor calidad de la cosecha. Los registros de plantas emergidas se hicieron a los 11, 18 y 42 días después de siembra en todos los tratamientos. El Cuadro 6.2 y la Figura 6.2 muestran los datos de emergencia para las dos localidades (L1 y L2) en la fecha F1. En general la emergencia de plantas fue más rápida en los tratamientos a temperatura ambiente con o sin PBZ en ambas localidades con o sin PBZ (91.66 y 92.5% respectivamente a los 42 días) estos datos contrastaron con los tratamientos a 5 °C con y sin PBZ (71.33 y 78% para el mismo periodo). Esto pareció indicar que las bajas temperaturas (5 °C) durante 15 días antes de la siembra retrasaron los procesos metabólicos que generó una menor emergencia de plantas. La aplicación de PBZ, dada su naturaleza de inhibidor de la síntesis de giberelinas, debía de haber disminuido la emergencia de plantas; no obstante, esto no se observó puesto que el tratamiento T2 (TA + PBZ) tuvo altas emergencias mientras que el tratamiento T4 (5°C + PBZ) tuvo menores emergencias. Esto parece indicar que fue la temperatura el principal factor que estimuló la emergencia de la planta y que el PBZ no tuvo un efecto significativo en ese proceso. Respecto de la localidad, la localidad L2 mostró una emergencia ligeramente mayor que la localidad L1.

**Cuadro 6.2. Porcentaje de emergencia de plantas de ajo ‘Coreano’ en la fecha F1 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).**

Localidad	Tratamientos	11 DDS	18 DDS	42 DDS
La Punta (L1F1)	TA (T1)	2.333	85.66	92.5
	TAPBZ (T2)	0	71.33	91.66
	5 °C (T3)	0.666	56.16	78
	5 °CPBZ (T4)	0.166	28.66	71.33
El Aguila (L2F1)	TA (T1)	12.33	88.5	97.5
	TAPBZ (T2)	16.66	88.16	96.67
	5 °C (T3)	7	78.5	91.5
	5 °CPBZ (T4)	5	68.16	88

DDS = Días después de siembra, L1 = Localidad uno, L2 = Localidad dos, TA = Temperatura ambiente, TAPBZ = Temperatura ambiente más paclobutrazol, 5 °CPBZ = 5 °C más paclobutrazol.



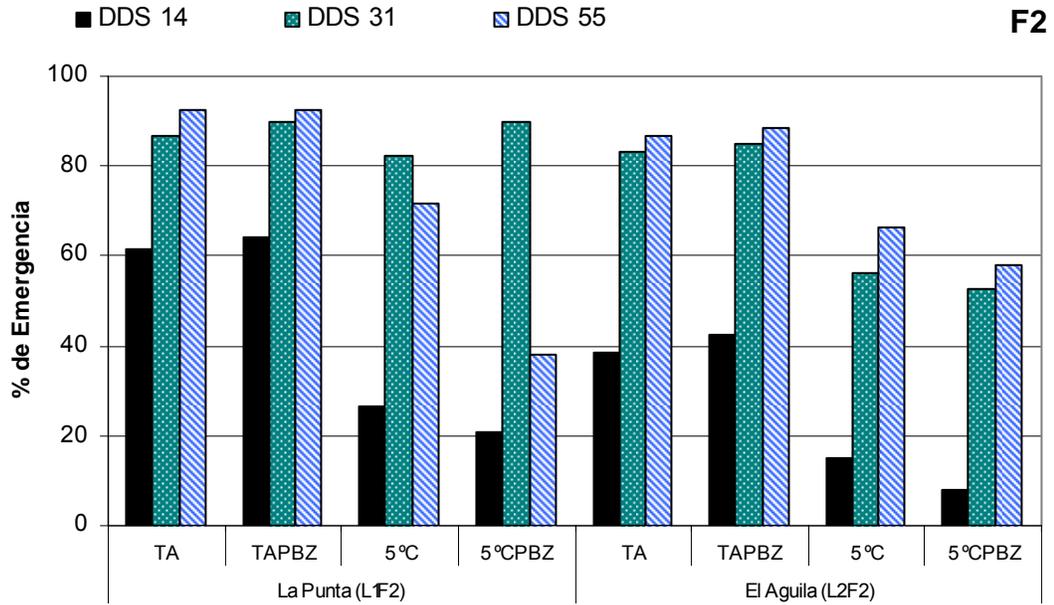
**Figura 6.2. Porcentaje de emergencia de las plántulas de ajo en la fecha F1 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).**

En la fecha F2 en ambas localidades a los 14 días después de la siembra, se observaron mayores porcentajes de emergencia respecto de lo observado en la fecha 1 a los 11 días (Cuadro 6.3 y Figura 6.3). También se observó un mayor porcentaje de emergencia en los tratamientos cuya ‘semilla’ se almacenó a temperatura ambiente (TA) por 15 días respecto de los almacenados a 5 °C (92.5 y 92.33% para T1 y T2 respectivamente y 71.83 y 38.16 para los tratamientos T3 y T4. Nuevamente, el factor temperatura de almacenamiento mas alta promovió una mayor emergencia. Además de los descrito, los tratamientos T4 (5 °C + PBZ) mostraron menores porcentajes de emergencia lo cual parece indicar que hubo un efecto inhibitorio sinérgico de la baja temperatura y el PBZ.

**Cuadro 6.3. Porcentaje de emergencia de las plántulas de ajo para la fecha tardía (F2) de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).**

DDS		14	31	55
<b>La Punta (L1F2)</b>	TA	61.66	86.67	92.5
	TAPBZ	64	90	92.33
	5 °C	26.5	82.5	71.83
	5 °CPBZ	20.66	89.83	38.16
<b>El Aguila (L2F2)</b>	TA	38.5	83.33	86.67
	TAPBZ	42.66	85	88.5
	5 °C	15.16	56	66.5
	5 °CPBZ	7.83	52.66	58

DDS = Días después de siembra, L1 = Localidad uno, L2 = Localidad dos, TA = Temperatura ambiente, TAPBZ = Temperatura ambiente más paclobutrazol, 5 °CPBZ = 5 °C más paclobutrazol.



**Figura 6.3. Porcentaje de emergencia de las plantas de ajo para la fecha F2 de ambas localidades La punta (L1) y El Aguila (L2).**

El retraso en la emergencia en los tratamientos con PBZ parece lógico si consideramos que este compuesto es un inhibidor de la síntesis de giberelinas que es la fitohormona que induce el crecimiento de la planta y además induce germinación, si ésta se vio inhibida entonces el retraso en la emergencia de las plantas quedaría explicado por este hecho. Respecto de los tratamientos con bajas temperaturas podría ser explicado en función de un posible efecto negativo en la síntesis de esa fitohormona (y de ahí su efecto sinérgico en la aplicación simultánea con el PBZ).

El hecho que en este experimento, la temperatura de 5°C no mostrara un efecto estimulador del proceso de emergencia de emergencia de plantas, llamó la atención pues en anteriores experimentos, el almacenamiento a 15°C produjo emergencias muy rápidas (Mercado-Paulino 2002 y Meza-Hernández 2005). Esto parece indicar que la temperatura de 5°C deja de ser inductora de brotación del ajo y se convierte en inhibidora de la misma.

### **6.3. Estudio del efecto de temperatura de almacenamiento de bulbos 'semilla', localidad, fecha de siembra e inhibidor de la síntesis de giberelinas en el desarrollo de la planta y calidad de la cosecha**

Como ya se anotó en la metodología, a lo largo del periodo de desarrollo, se realizaron 9 muestreos calendarizados conforme se anota en el Cuadro 6.4; en este mismo cuadro se indica también los días transcurridos después de cada fecha de siembra los cuales se tomaron para las interpretaciones de los resultados correspondientes.

Como también se anotó en la metodología, la unidad experimental de cada muestreo fue una planta y el número de unidades experimentales o replicas fue de 10 plantas para cada tratamiento.

Previo a la toma de muestras para evaluar el desarrollo de las plantas; se procedió a cuantificar el porcentaje de plantas emergidas después de su fecha de siembra. Este dato es importante, pues entre más rápido se presente este fenómeno el manejo del cultivo se hace más homogéneo y por tanto las etapas de desarrollo del cultivo (etapas fenológicas) podrán ser manejadas mas uniformemente por el productor.

Cuadro 6.4. Fechas de muestreo y días transcurridos después de la siembra.

No. De Muestreo	Fechas	Días después siembra F1	Días después siembra F2
1	21 Nov 2005	64	49
2	15 Dic 2005	87	73
3	04 Enero 2006	107	93
4	20 Enero 2006	123	109
5	17 Feb 2006	151	137
6	10 Marzo 2006	172	158
7	31 Marzo 2006	193	179
8	18 Abril 2006	211	197
9	02 Mayo 2006	225	211

### **6.3.1 Efecto de la localidad, fecha de siembra y tratamientos aplicados durante el almacenamiento de la semilla.**

El Cuadro 6.5 muestra los valores P de los análisis de varianza ( $\alpha = 0.05$ ) aplicados para determinar el efecto de la localidad, fecha de siembra y los tratamientos así como sus interacciones (Localidad-fecha, Localidad-Tratamiento y Fecha-tratamiento); las variables respuesta analizadas fueron altura de la planta (AP), número de hojas (NH), ancho de las hojas (AH), peso de las plantas (PP), diámetros de cuello (DC), y del bulbo (DB) e índice de bulbificación (IB).

**Cuadro 6.5. Valores P del análisis de varianza para los factores localidad, fecha de siembra y tratamiento en diferentes variables respuesta.**

Factor	AP	NH	AH	PP	DC	DB	IB
Local	0.0004 ***	0.0213 *	<.0001 ***	0.0017 **	0.2562 NS	0.017 *	0.1387 NS
Fecha	0.0011 **	0.0198 *	<.0001 ***	<.0001 ***	<.0001 ***	0.0016 *	0.1546 NS
Local*Fecha	0.0198 *	0.1859 *	<.0001 ***	0.0031 **	0.0142 *	0.0006 ***	0.4996 NS
Trat	0.8316 NS	0.0449 NS	0.0581 NS	0.6506 NS	0.3748 NS	0.9233 NS	0.2244 NS
Local*Trat	0.6139 NS	0.4972 NS	0.7522 NS	0.7812 NS	0.3082 NS	0.9038 NS	0.5547 NS
Fecha *Trat	0.7731 NS	0.4275 NS	0.5102 NS	0.8811 NS	0.0764 NS	0.9475 NS	0.091 NS

\*\*\* = altamente significativo, \*\* = significativo, \* = Poco significativo, NS, no significativo, Trat = tratamiento, AP = altura de la planta, NH = numero de hojas, AH = Ancho de hojas, PP = peso de la planta, DC = diámetro del cuello, DB = diámetro del bulbo e IB = Índice de bulbificación.

En prácticamente todas las variables respuesta analizadas, no se observó un efecto altamente significativo de la temperatura de almacenamiento por 15 días de los dientes de ajo (“semilla”) ni de la aplicación del PBZ es decir de los tratamientos aplicados en almacenamiento; no obstante, si se observó un efecto significativo de localidad y fecha de siembra así como su interacción (Localidad-fecha); mientras que la localidad mostró diferencias significativas para número de hoja, pesos de la planta (PP) y diámetro del bulbo (DB), en tanto que para la altura de la planta (AP) y el ancho de hoja (AN) presentó una alta significancia. En tanto que todos los factores analizados no tuvieron efectos significativos en el IB

Respecto de el factor fecha de siembra, el análisis arrojó diferencias significativas para altura de la planta (AP), número de hojas (NH) y diámetro del bulbo (DB), sin embargo, mostró diferencias altamente significativas para Ancho de hoja (AH), peso de la planta (PP) y diámetro del cuello (DC) además que tampoco mostró diferencias en el índice de bulbificación, de modo que la interacción de estos dos factores denoto diferencias en el ancho de hoja y diámetro del bulbo; de manera que las diferencias no se deben a los tratamientos aplicados y si a los factores de localidad y fecha de siembra por lo que la aplicación de bajas temperaturas en almacenamiento y la aplicación de PBZ

durante el almacenamiento de la semilla de ajo pareció no tener efecto sobre las variables respuesta que implican el desarrollo y crecimiento de la planta.

El Cuadro 6.6 señala los valores de las medias determinados en el análisis y su comparación de medias (Tukey al 0.05).

El poco efecto de la aplicación del PBZ en el crecimiento del bulbo contrasta con lo reportado por Rahim y Fordham (2005) quienes indicaron que el uso de este compuesto induce la bulbificación y que pudiera ser recomendado como sustituto para satisfacer los requerimientos de frío de este cultivo. La explicación a estas diferencias de resultados puede ser debido a los distintos procedimientos experimentales utilizados; aquellos autores aplicaron el compuesto a los dientes 'semilla' y después su cultivo fu llevado en cámaras de crecimiento en ambientes muy controlados, mientras que los experimentos llevados a cabo en este trabajo también se sumergieron los dientes 'semilla en la solución del compuesto pero después el desarrollo del cultivo se llevo a cabo a cielo abierto

Acerca del factor localidad para; se observó que en La Punta (L1); se registraron los mayores valores respecto de la Localidad de las Águilas (L2) en las variables respuesta de altura de planta, ancho de hoja, peso y diámetro del bulbo; y no se encontraron diferencias en diámetro de cuello e índice de bulbificación. Estos resultados pueden sugerir una mejor recomendación para la siembra de estos ajos en la zona de La Punta.

Respecto del factor fecha de siembra, todas las variables respuesta registraron valores mayores en las plantas sembradas el 19 de Septiembre (F1) respecto de las sembradas el 3 de Octubre (F2). Estos resultados señalan una ventaja para el desarrollo de la planta el sembrarla más temprano que tarde.

**Cuadro 6.6. Comparación de medias para distintas variables respuestas para los factores localidad, fecha de siembra y su interacción.**

Coreano	Factores	Altura	Ancho hoja	Peso	Diam cuello	Diam bulbo	Ind Bulb
Localidad	L1	64.39a	2.59a	87.42a	1.32a	3.45a	2.68a
	L2	59.56b	2.36b	73.09b	1.29a	3.22b	2.57a
Fecha	F1	64.19a	2.70a	90.68a	1.41a	3.49a	2.57a
	F2	59.76b	2.26b	69.63b	1.20b	3.18b	2.68b
Loc*Fecha	L1F1	65.02a	2.69a	91.11a	1.39a	3.43a	2.60a
	L1F2	63.76a	2.50b	83.72a	1.25b	3.46a	2.76a
	L2F1	63.36a	2.71a	90.24a	1.43a	3.54a	2.54a
	L2F2	55.77b	2.02c	55.04b	1.14b	2.90b	2.60a

Letras iguales en la misma columna, no muestran diferencias estadísticas significativas (Tuckey  $\alpha 0.05$ )

El análisis de las interacciones fecha de siembra-localidad, señaló de forma consistente que en la localidad de Las Águilas y en la fecha de siembra 2 (L2 F2) se registraron los menores valores; esta situación se explica a posibles deficiencias de riego en la parcela experimental, que aunque estuvo ubicada dentro de la parcela comercial el riego pareció llegar a ella con mayor dificultad alterando con ello los resultados y posiblemente disminuyendo el posible potencial de esta parcela para el cultivo de ajo.

Dado que el anterior cuadro nos muestra las medias generales de los factores analizados pero confunden los datos de los diferentes muestreos; fue necesario construir gráficas de las diferentes variables respuesta en el transcurso del desarrollo del cultivo que nos permitieran observar como es que cada variable cambia durante el desarrollo de la planta.

La Figura 6.4 muestra los cambios de altura y peso de las plantas, mientras que la Figura 6.5 señala los cambios del diámetro del bulbo y del Índice de bulbificación. A los 109 días después de la siembra; las plantas de ajo empezaron

un proceso de crecimiento acelerado que fue significativamente mayor en las plantas cultivadas en la localidad L1 en las dos fechas de siembra (F1 o F2) mientras que las plantas de la localidad L2 tuvieron significativamente menos tallas respecto de la localidad L1. Por su parte el peso empezó a incrementar aceleradamente a partir de día 137, es decir, un mes después de que empezaron a hacer las tallas, nuevamente la localidad L1 mostró una mayor ganancia de peso mientras que en la localidad L2, aquellas plantas de la fecha de siembra F1 alcanzaron pesos similares a los registrados en L1; no obstante en la fecha de siembra F2, los pesos registrados fueron mucho menores para ambas localidades (L1 y L2). Durante los muestreos de esta parcela, nos percatamos que la humedad del suelo era mucho menor respecto de la F1; por ello es muy posible que la explicación a la fuerte diferencia en pesos y tallas en esta fecha de siembra se deba a que la parcela no recibió los mismos aportes de agua que la parcela comercial donde también estuvieron ubicados los experimentos de la fecha F1. Estos datos indican evidentemente que la capacidad de respuesta del ajo a diferentes tratamientos puede ser rebasada por un mal manejo del cultivo en este caso un riego inadecuado.

También el crecimiento del diámetro del bulbo coincidió con las mismas fechas en que empezaron a crecer las tallas y los pesos de las plantas (día 137 después de siembra) no obstante; es de llamar la atención que las plantas sembradas en la fecha 2 (15 días después de la primera fecha de siembra) no atrasaron su crecimiento y en lugar de ello alcanzaron a aquellas plantas y lograron diámetros similares en un menor tiempo de desarrollo. La diferenciación del bulbo respecto de la planta no empezó de forma simultánea. Para el diámetro del bulbo, tuvo un comportamiento parecido al mostrado por la talla de la planta y el peso y también se encontró que las plantas sembradas en la fecha F2, alcanzaron a las plantas sembradas 15 días antes o F1 (Figura 6.4). Estas observaciones, señalan que seguramente los factores ambientales presentes durante el periodo de cultivo son determinantes en inducir el crecimiento acelerado

de estas plantas. El índice de bulbificación o relación entre el diámetro del bulbo respecto del diámetro del cuello sirve de indicador del proceso de llenado del bulbo; cuando este índice se ubica por arriba de 2, se asume que el bulbo ha empezado a desarrollar.

En la Figura 6.5 se aprecia que para las plantas L1F1, el bulbo inició su proceso acelerado de crecimiento a los 123 días después de siembra mientras que la diferenciación como bulbo empezó en periodos posteriores (193 días después de siembra); para el caso de las plantas L1F2, el crecimiento del bulbo empezó a los 109 días y la diferenciación del bulbo empezó a los 179 días; es decir que las plantas de siembras tardías parecen acelerar su ciclo de desarrollo; y alcanzan a las plantas de siembras más adelantadas para finalmente tener aproximadamente las mismas dimensiones. Este hecho es bastante interesante desde el punto de vista de manejo del cultivo; pues señala que el desarrollo de la planta y del bulbo deben estar muy ligados a los factores ambientales (como la temperatura, la irradiación solar y el fotoperiodo) que al alcanzar un determinado nivel desencadenan en la planta el proceso de crecimiento acelerado y la diferenciación del bulbo. No obstante, también esto debe estar ligado a las practicas culturales que tenga cada productor, siendo especialmente importante el programa de aplicación de fertilización.

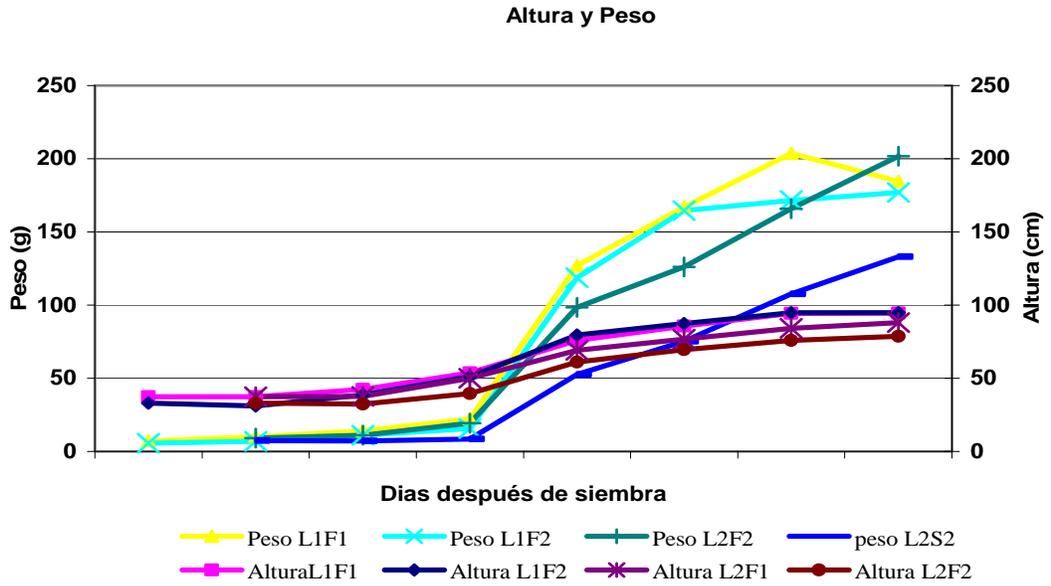


Figura 6.4. Cambios de la altura y de peso de la planta de ajo cultivado en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2).

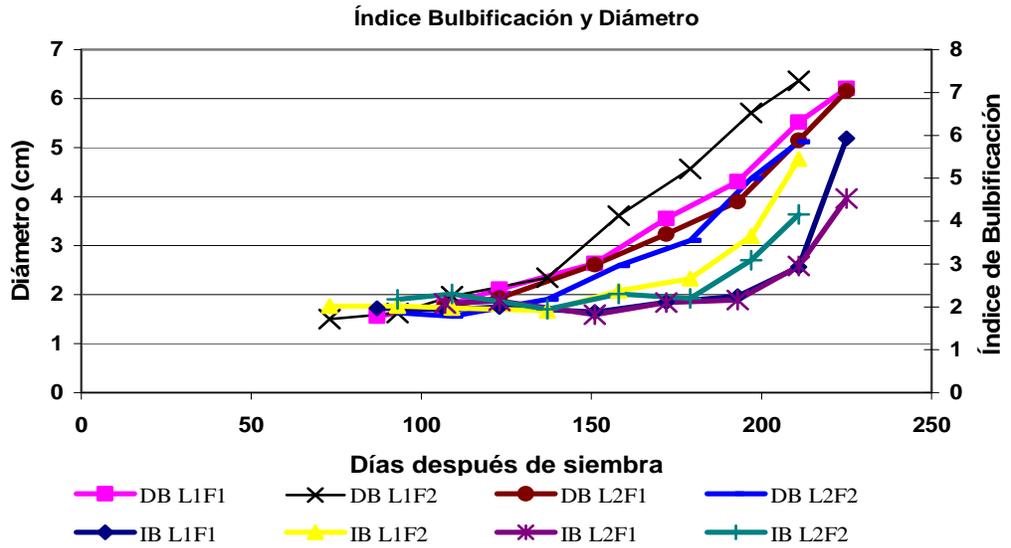


Figura 6.5 Cambios del diámetro del bulbo (DB) e índice de bulbificación (IB) en la planta cultivado en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2).

### **6.3.2 Interrelación de los factores ambientales con el crecimiento de la planta**

Dado que las variables respuesta de desarrollo de la planta no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de almacenamiento a diferentes temperaturas y que de la aplicación de PBZ tampoco mostró diferencias entre los grupos tratados o no; y que sin embargo, las plantas sembradas en la fecha de siembra F2 mostraron un desarrollo más acelerado y alcanzaron las dimensiones de las plantas de la siembra F1 en un menor periodo de tiempo; esto sugirió un efecto pronunciado del ambiente como disparador del proceso de crecimiento.

Con objeto de determinar la relación que guardan los factores de clima (temperaturas máxima, mínima y media), el fotoperiodo y la radiación solar máxima con las variable respuesta de crecimiento de la planta; se construyeron gráficas de cada una de las variables respuesta frente a los datos de temperaturas, fotoperiodo e irradiación máxima obtenidos de las estaciones climatológicas más cercanas a las parcelas de estudio.

La Figura 6.6 muestra datos de la altura y de las temperaturas en la localidad L1 en sus dos periodos de siembra, se puede apreciar que la planta muestra un fuerte incremento de tallas cuando las temperaturas mínimas estuvieron en el intervalo de 0 a 5 °C; la temperatura media en el intervalo de 10 a 20 °C y las máximas estaban entre 25 y 30 °C. Para el caso del peso de la planta y el diámetro del bulbo, estas observaciones se repiten en ambas variedades. Las Figuras 6.7 y 6.8 muestran claramente que la planta del ajo es dependiente de los regímenes de temperatura que muestre el área de cultivo. No obstante, la altura de la planta parece inhibirse cuando las temperaturas máximas superan los 30 °C, aunque esto también puede deberse a que la planta llega a su máximo estado de desarrollo cuando las temperaturas también son altas.

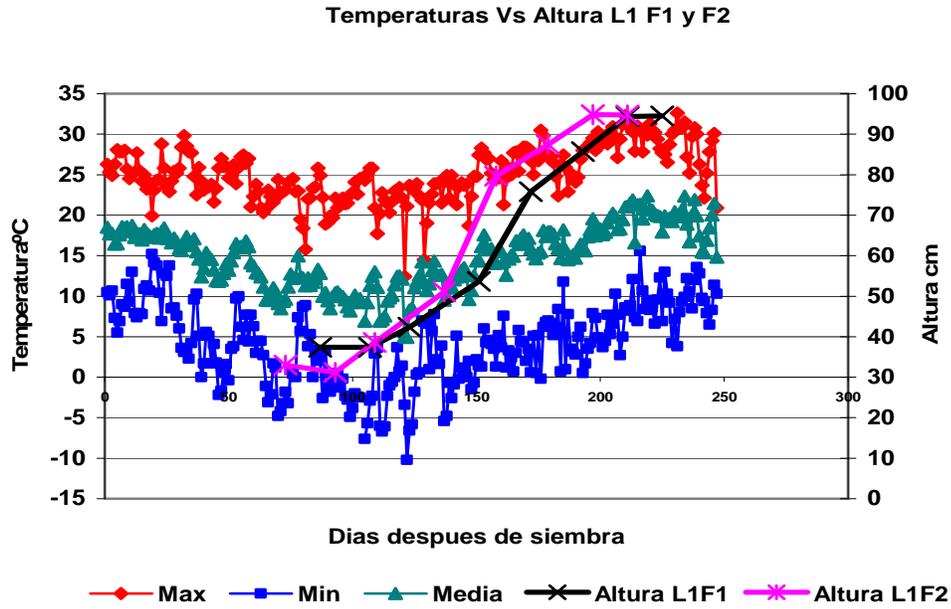


Figura 6.6. Cambios en la altura de la planta de ajo comparada con los cambios en las temperaturas Máxima, media y mínima para la localidad 1 (L1) y dos fechas de siembra (F1 y F2).

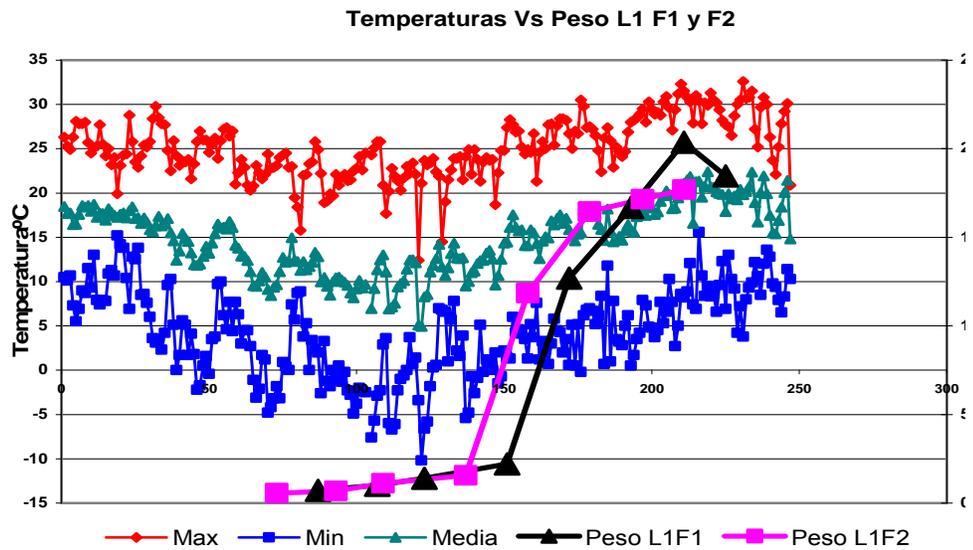
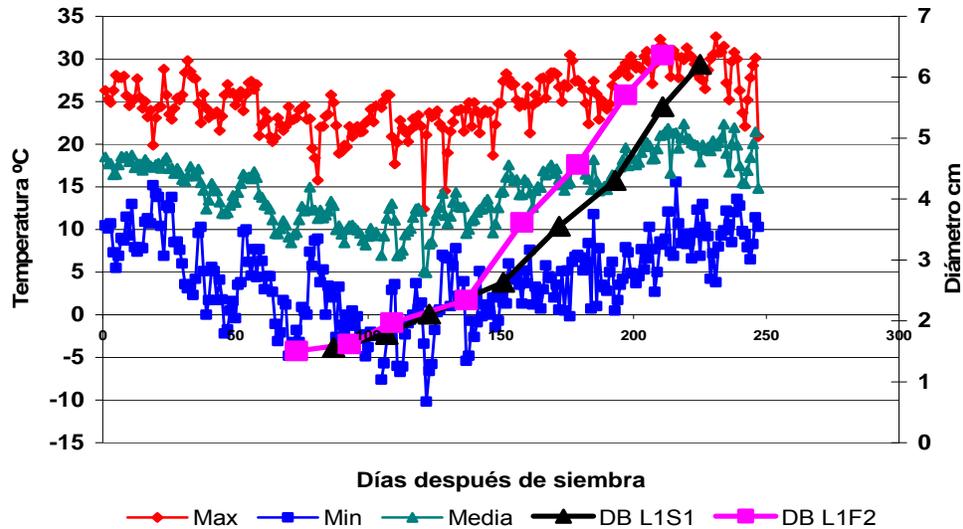


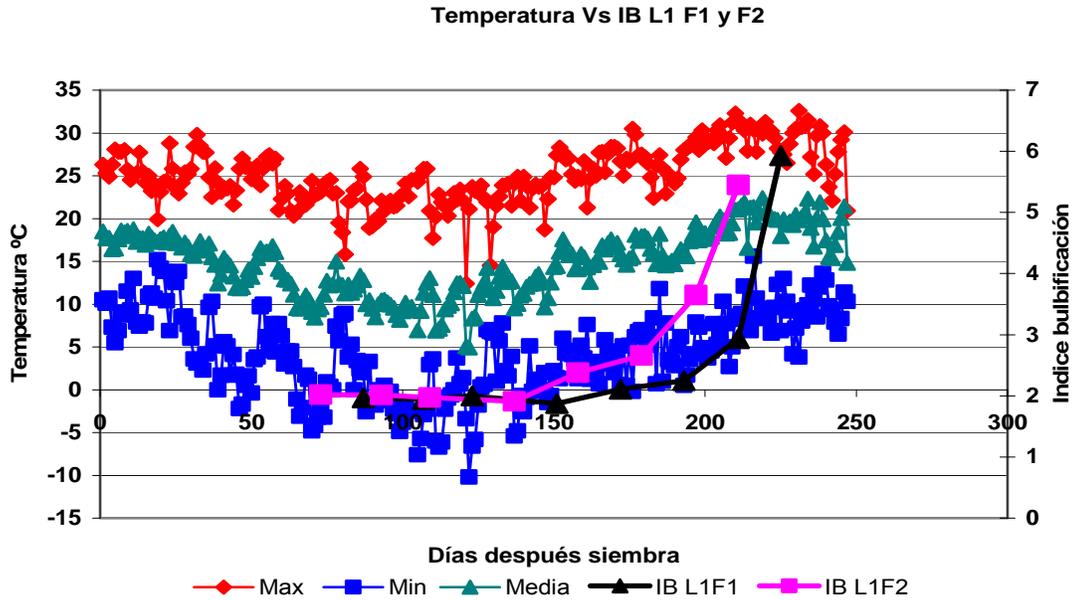
Figura 6.7. Cambios del peso de la planta de ajo respecto de dos fechas de siembra (F1 y F2) cultivadas en la localidad L1 (La Punta).

Temperatura Vs Diámetro Bulbo Cr L1S1 y S2



**Figura 6.8. Cambios del diámetro del bulbo de ajo respecto de dos fechas de siembra (F1 y F2) cultivadas en la localidad L1 (La Punta).**

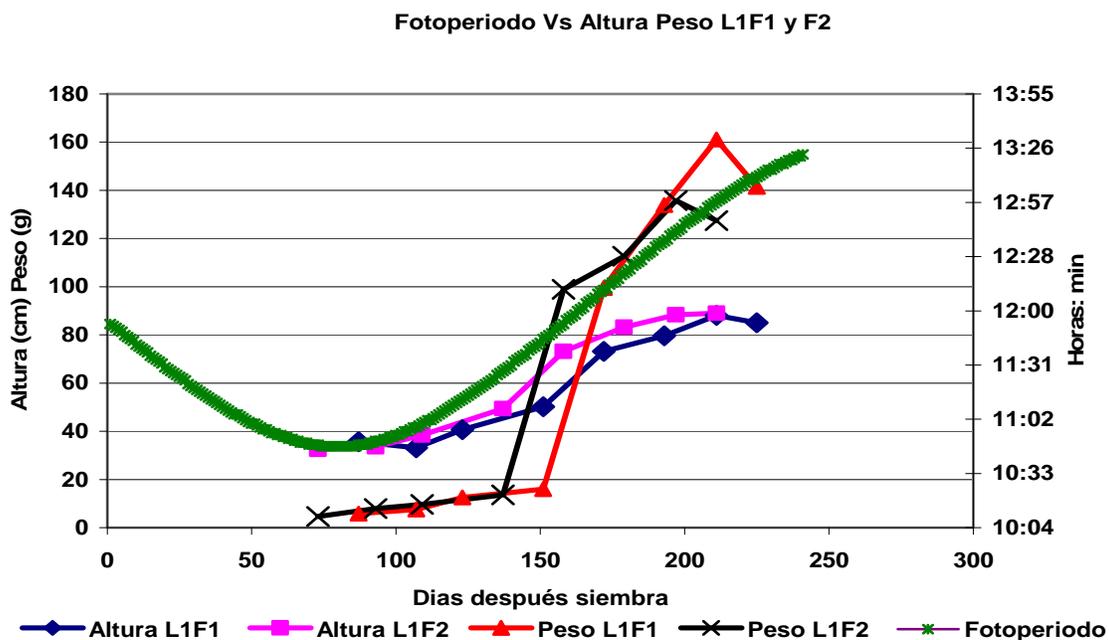
La Figura 6.9 muestra los datos de los índices de bulbificación para la Localidad de la Punta. En ella se aprecia que esta variable parece estar mas influenciada por las fluctuaciones de temperaturas especialmente las temperaturas mínimas y medias; el proceso de diferenciación del bulbo parece iniciarse cuando el intervalo de de las temperaturas mínimas se encuentra entre 5 y 10 °C y las temperaturas medias se encuentran por arriba de los 15 °C después del día 150 de siembra. Aunque también es posible que otros factores (como algunas prácticas culturales como la dosificación de los aportes de nitrógeno) que en conjunto con los factores ambientales detonen el proceso de diferenciación de los bulbos.



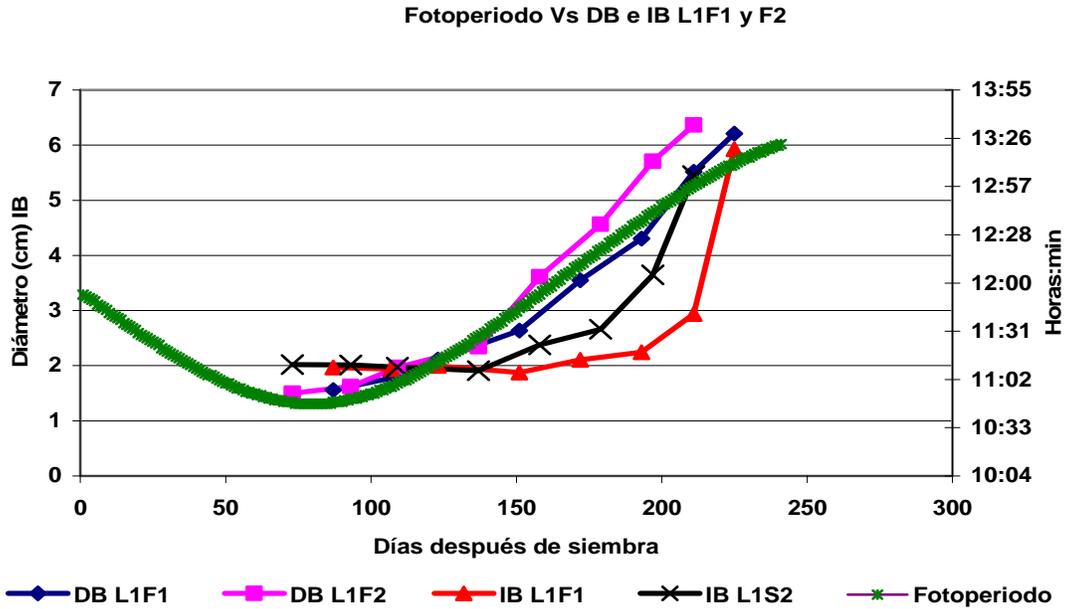
**Figura 6.9 Efecto de las temperaturas en los cambios del Índice de bulbificación de ajo de dos fechas de siembra (F1 y F2) cultivadas en la localidad L1 (La Punta).**

Respecto de la influencia del fotoperiodo, la Figura 6.10 muestra los cambios de este factor ambiental frente a las variables de altura y peso para las dos fechas de siembra. De la misma forma, la Figura 6.11 muestra esta relación para el caso del diámetro e índice de bulbificación. Estas figuras resaltan de manera muy evidente que el crecimiento en tallas y diámetro de los bulbos así como la ganancia de peso está directamente relacionada con la ampliación del fotoperiodo; lo cual es lógico ya que estas variables están directamente relacionadas a la acumulación de productos de la fotosíntesis y ésta a su vez está relacionada con la cantidad de luz que la planta disponga. Si la planta dispone de agua y nutrientes suficientes, estará en posibilidades de generar material vegetativo o activar el proceso de diferenciación de dientes y prepararse para una dormancia. Es probable que si durante el periodo de pleno crecimiento se le reducen a la planta los aportes de nitrógeno, la formación de estructura vegetativa se verá disminuida mientras que la fotosíntesis continuará generando carbohidratos que propiciarán la acumulación de fructanos (principal carbohidrato

de reserva del ajo) y con ellos o en forma simultánea se inicie la diferenciación de los dientes como última etapa de desarrollo de la planta.



**Figura 6.10 Efecto del Fotoperiodo en el crecimiento de plantas de ajo en la Localidad L1 y en dos fechas de siembra (F1 y F2).**



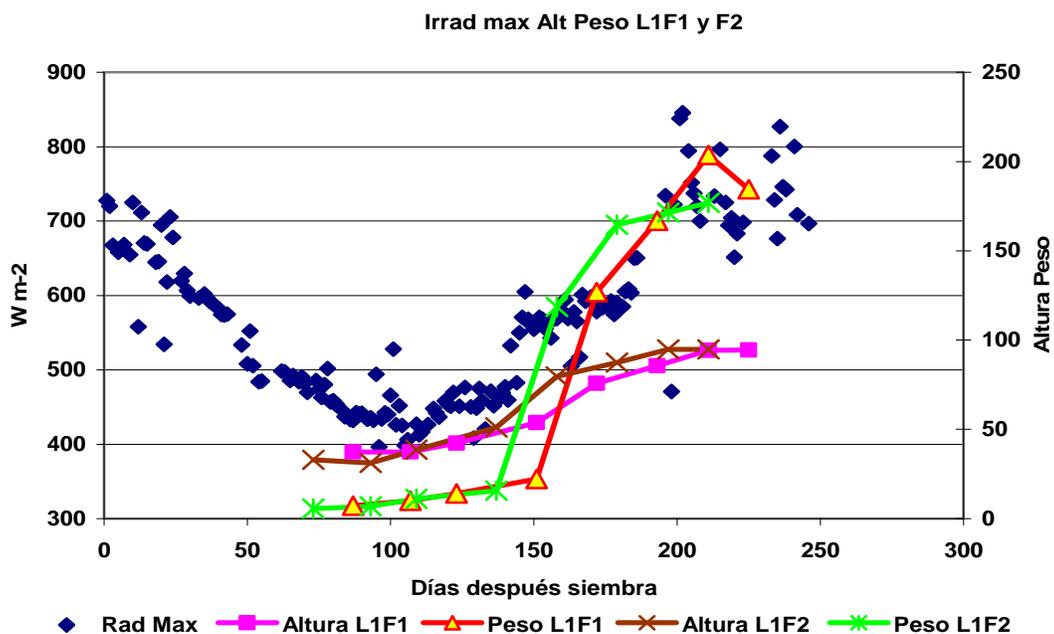
**Figura 6.11. Efecto del fotoperiodo en diámetro de bulbo (DB) e Índice de bulbificación acción (IB) en ajo en la Localidad L1 en dos fechas de siembra (F1 y F2).**

Para observar el efecto de la intensidad máxima de luz diaria en las variables de crecimiento, la Figura 6.12 muestra el efecto de este factor en la altura y el peso en tanto que la Figura 6.13 lo muestra para el diámetro del bulbo e Índice de bulbificación. En estas gráficas se ve claramente que cuando la intensidad lumínica es baja el crecimiento de la planta es mínimo y que a medida que ésta se incrementa la planta crece; estas mismas figuras parecen demostrar que el crecimiento de las plantas de ajo está directamente relacionado con su actividad de fotosíntesis, la cual está plenamente influida por la cantidad de luz recibida por la planta. Por su parte el índice de bulbificación se vio menos influido por este factor.

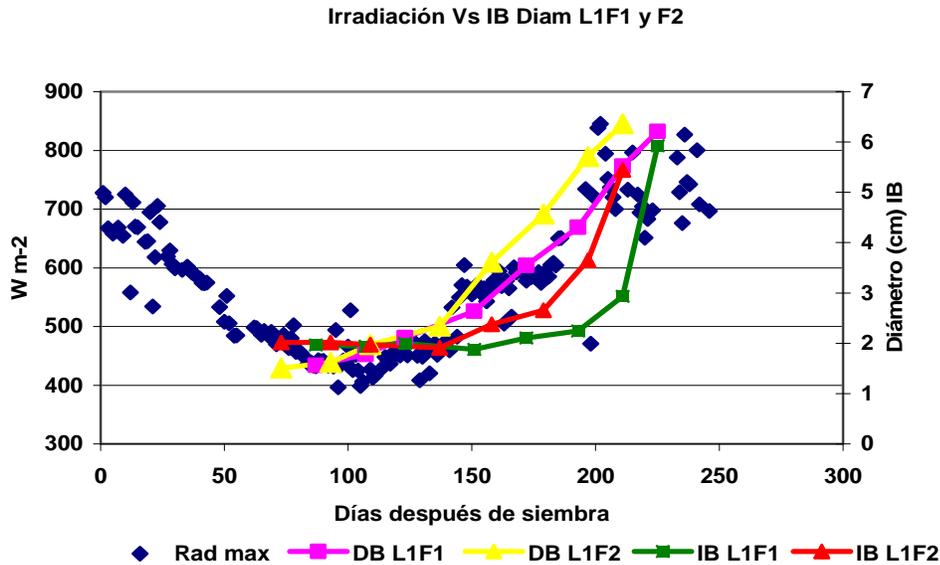
Al igual que lo discutido en la influencia del fotoperiodo; estos datos muestran claramente que el crecimiento de este cultivo, está plenamente dominado por el fotoperiodo y la intensidad lumínica y la participación de las temperaturas dentro del crecimiento sea un factor que controla la velocidad del proceso.

En apoyo a estas observaciones Natasja y col (2003) observaron que la actividad fotosintética de plantas de cebolla y su correspondiente crecimiento de los bulbos estuvo directamente relacionado con la extensión del fotoperiodo ya que en sus experimentos encontraron que estas `plantas sometidas a condiciones de iluminación continua mostraron un mayor crecimiento de los bulbos y una mayor acumulación de azúcares; mientras que los bulbos que tuvieron fotoperiodos de 12 horas mostraron un crecimiento menor y también una menor acumulación de azúcares lo cual claramente indica que la luz tiene una gran importancia en el crecimiento de la planta y del bulbo.

No obstante, queda pendiente por resolver como un periodo de bajas temperaturas durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas logran inducir una mejor calidad de los bulbos en poscosecha.



**Figura 6.12. Efecto de la Intensidad de irradiación lumínica máxima diaria (Watts m-2) en la altura y peso de ajo en la localidad L1 (La Punta) en dos fechas de siembra (F1 y F2).**



**Figura 6.13 Efecto de la Intensidad lumínica máxima diaria (Watts m-2) en el diámetro del bulbo (DB) e Índice de bulbificación (IB) en plantas de ajo en la Localidad L1 (La Punta) en dos fechas de siembra (F1 y F2).**

De acuerdo a los datos aquí generados, se puede plantear la hipótesis que el efecto real del periodo de frío en las plantas de ajo es propiciar un atraso del desarrollo del cultivo durante el cual se generan señales internas que son disparadas durante el incremento de temperaturas ambientales, el incremento de la intensidad luminosa y la ampliación del fotoperiodo. Estas condiciones generan una mayor fotosíntesis y por lo tanto se estimula el crecimiento. Si junto con esas condiciones ambientales, por prácticas culturales, se le induce un menor aporte de nutrientes se obliga a la planta al proceso de diferenciación.

### **6.3.3 Calidad de los bulbos cosechados**

En las operaciones comerciales de ajo son muy importantes los factores de calidad como peso, tamaño y firmeza de los bulbos, ausencia de defectos, además del rendimiento por hectárea. Respecto del tamaño de los bulbos, estos se establecen por calibres siendo los bulbos más pequeños los que conforman el calibre 6 con 4.5 cm de diámetro y los más grandes el calibre 12 con diámetro de

8 cm de acuerdo al Cuadro 5.1 de clasificación indicado en la metodología. La clasificación por calibres de la cosecha obtenida en los experimentos indicados en este trabajo se muestra en la Figura 6.14; en ella se observa que en la localidad L1 los ajos sembrados el 3 de Octubre (F2) generaron un mayor porcentaje de calibres 7, 8, y 9 (calibres menores) en comparación con los sembrados el día 16 de Septiembre (F1) donde se encontró un mayor porcentaje de ajos de calibres mayores (9, 10, 11, 12 y mayores de 12) Cuadro 6.7.

**Cuadro 6.7 Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L1 (La Punta) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (F1 y F2)**

Fecha	Tratamiento	Calibre %								
		5	6	7	8	9	10	11	12	13
16 de Sep(F1)	TA	3.5	1.8	4.0	8.4	18.9	30.0	13.2	11.9	0.4
	TA+PBZ	1.2	1.8	4.9	12.3	17.8	20.2	16.6	10.4	1.2
	5 °C	2.8	1.9	6.0	9.3	14.9	24.2	14.4	8.4	1.4
	5 °C+PBZ	2.5	3.8	8.1	6.9	18.1	20.6	21.3	4.4	0.0
3 de Oct(F2)	TA	3.4	3.8	5.3	22.9	26.7	23.7	10.5	3.0	0.4
	TA+PBZ	0.4	5.2	4.3	16.8	25.9	24.6	12.5	3.9	0.4
	5 °C	4.0	10.6	14.6	23.9	18.6	15.5	8.8	1.8	0.0
	5 °C+PBZ	4.3	8.2	10.9	17.4	25.5	18.5	8.2	2.7	0.5

TA = Temperatura ambiente, TAPBZ = Temperatura ambiente más paclobutrazol, 5 °CPBZ = 5 °C más paclobutrazol.

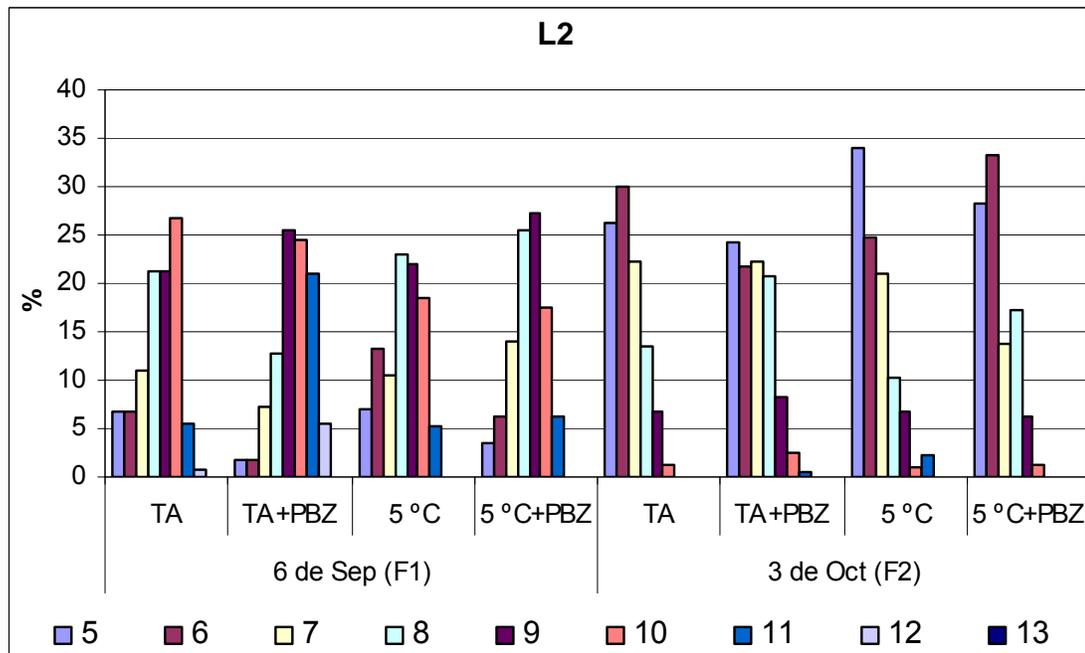
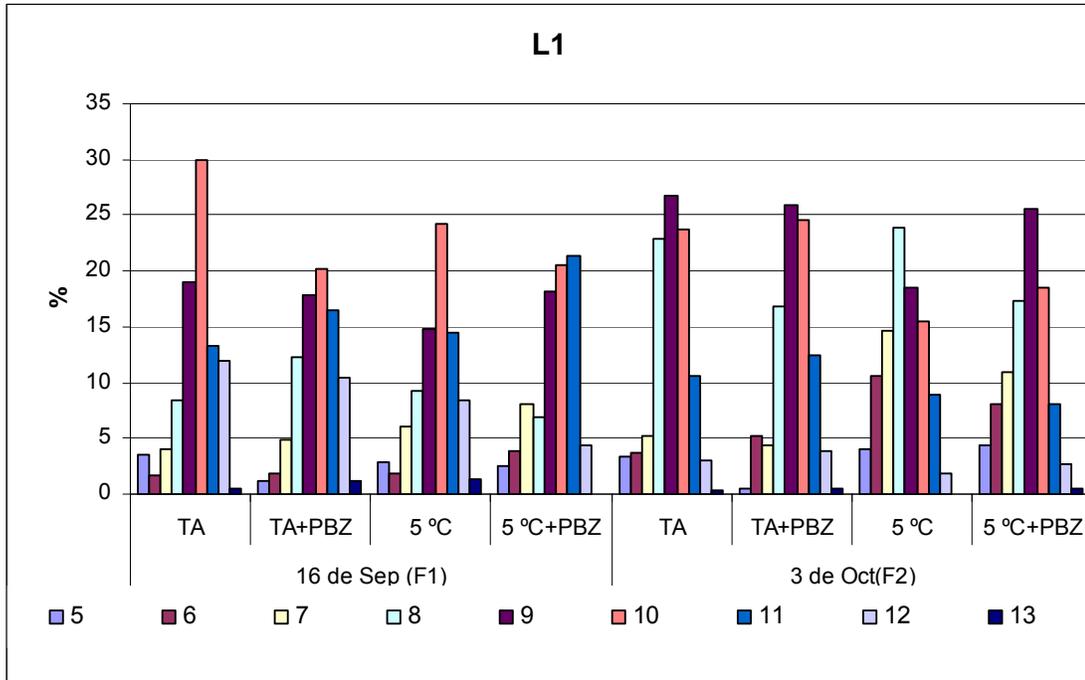
Para la Localidad L2 (El Aguila) el comportamiento fue distinto, en la fecha F1 se obtuvieron una frecuencia mayor de calibres grandes (8, 9, 10 y 11) en tanto que en la fecha F2 se obtuvieron mayores frecuencias de calibres pequeños (5, 6, y 7). Lo anterior indicó, aunque no hubo posibilidades de realizar repeticiones del experimento, que en la localidad de El Aguila (L2), una siembra adelantada generó mejores calibres mientras que en la localidad de La Punta (L1) esto se observó en la siembra atrasada Cuadro 6.8.

**Cuadro 6.8 Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L2 (El Águila) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (F1 y F2)**

Fecha	Tratamiento	Calibres %								
		5	6	7	8	9	10	11	12	13
6 de Sep (F1)	TA	6.8	6.8	11.0	21.2	21.2	26.7	5.5	0.7	0.0
	TA+PBZ	1.8	1.8	7.3	12.7	25.5	24.5	20.9	5.5	0.0
	5 °C	7.1	13.3	10.6	23.0	22.1	18.6	5.3	0.0	0.0
	5 °C+PBZ	3.5	6.1	14.0	25.4	27.2	17.5	6.1	0.0	0.0
3 de Oct(F2)	TA	26.3	29.9	22.3	13.4	6.7	1.3	0.0	0.0	0.0
	TA+PBZ	24.2	21.7	22.2	20.8	8.2	2.4	0.5	0.0	0.0
	5 °C	34.1	24.7	21.1	10.3	6.7	0.9	2.2	0.0	0.0
	5 °C+PBZ	28.2	33.3	13.8	17.2	6.3	1.1	0.0	0.0	0.0

TA = Temperatura ambiente, TAPBZ = Temperatura ambiente más paclobutrazol, 5 °CPBZ = 5 °C más paclobutrazol.

Respecto de este comportamiento Shahidur *y col* (2004) indicaron que un adelanto de la fecha de siembra generó mayores diámetros del bulbo de ajo y mejores calibres así como mayores rendimientos. Aunque sus estudios fueron llevados a cabo en dos periodos de siembra separados por un mes, (noviembre y diciembre) y con materiales de bajo peso respecto de los cultivados en México, si pudo observar que el intervalo de diámetros de los bulbos obtenidos de la siembra temprana (noviembre) fue de 1.83 a 2.15 cms mientras que para los sembrados en diciembre este fue de 1.62 a 1.78 cms. La explicación a este fenómeno se centra en que las plantas sembradas más temprano reciben un mayor efecto de la luz que promueve una mayor fotosíntesis y por lo tanto mayor peso del producto mientras que las plantas sembradas tardíamente este efecto se ve disminuido y por lo tanto la acumulación de materiales en el bulbo también pudo verse afectada.



**Figura 6.14** Porcentajes de calibres (5 = 4 cm aumentando 0.5 cm hasta tener 13 = 8 cm de diámetro) de ajos de cada tratamiento en la cosecha final de ajo Coreano en la Localidad L1 (La Punta) y L2 (El Águila) en dos fechas de sembradas con 15 días de diferencia (S1 y S2)

## 6.4 Análisis de Componentes principales

Con el objeto de estimar que variable o variables, de las medidas, afectan más la calidad poscosecha de los bulbos; los datos obtenidos de la clasificación fueron sujetos a un análisis de componentes principales utilizando el programa JMP 5.1.

El Cuadro 6.9 muestra los valores de correlaciones entre los componentes principales CP1, CP2 y CP3 los cuales explican el 85.34% de la variación de los datos de calidad final. Los tres componentes muestran variables que tienen tanto un peso positivo como negativo lo cual los identifican como bipolares.

**Cuadro 6.9 Valores de los componentes principales a partir de correlaciones**

Variables	CP1	CP2	CP3
Eigenvalue	6.42194388	2.39675542	1.42189172
Proportion	0.5352	0.1997	0.1185
Cumulative	0.5352	0.7349	0.8534
KgTha	0.367128*	0.130938	0.066173
KgBha	0.158772	-0.561273*	-0.102001
KgDefha	-0.103423	-0.472333*	-0.103397
Kg<6ha	-0.333281*	0.174997	0.287152
kg6ha	-0.302275	0.183642	0.371362*
kg7ha	-0.325122	0.253678	0.128163
kg8ha	0.094351	0.449437*	-0.450895*
kg9ha	0.304751*	0.309933	-0.205445
kg10ha	0.371391*	0.13208	0.02277
kg11ha	0.355771*	0.017823	0.174918
kg12ha	0.303314*	-0.014405	0.467469
Kg>12ha	0.250763	0.002476	0.492522

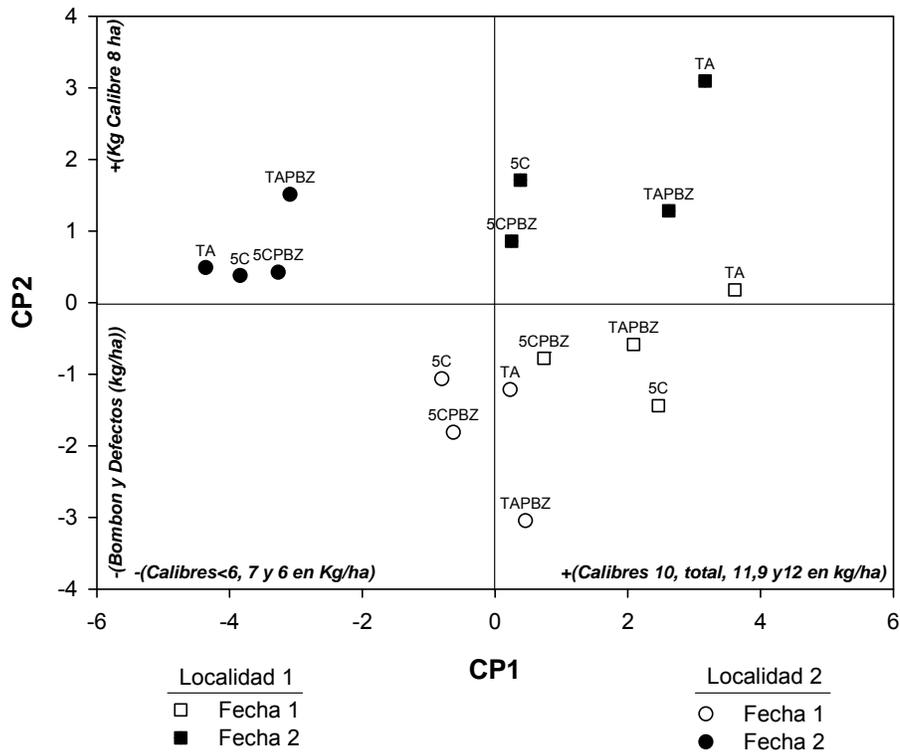
\* = Variables con mas peso en cada componente. KgTha = Kg totales de ajo por ha, KgBha = Kg de ajos bombones por ha, KgDefha = Kg de ajos defectuosos por ha, Kg<6ha=Kg de ajos menores a calibre 6 por ha, Kg6ha = Kg de ajos de calibre 6 por ha, así sucesivamente hasta el calibre 11 y Kg>12ha = Kg de ajos con calibre mayor a 12 por ha.

El componente principal CP1 que explica el 53% de la variación, en orden de importancia, fue positivamente influido por los pesos de los calibres 10, rendimiento total, 11, 9 y 12 y así mismo estuvo influido negativamente por los pesos de los calibres menores de 6, 7 y 6. Por ello la expresión que daría el valor de este componente principal sería  $CP1 = 0.37Kg10ha + 0.36kgTha + 0.35kg11ha$

+ 0.30kg9ha + 0.30kg12ha – 0.33kg<6ha – 0.32kg7ha – 0.30kg6ha mientras que el componente CP2, que explica el 20% de variación, estuvo influido positivamente por los pesos de los calibres 8 y 9 y negativamente por los pesos de los “bombones” y el peso de los defectos. La expresión de este componente sería  $CP2 = 0.45kg8ha + 0.31kg9ha - 0.56kgBha - 0.47kgDefha$ . Por último, el componente CP3 que expresa el 11.8% de la variación; está influido positivamente por los pesos de los calibres mayores de 12 y 12; y negativamente por el peso del calibre 8; por ello su expresión sería  $CP3 = 0.49kg>12ha + 0.47kg12ha - 0.45kg8ha$ .

Las Figuras 6.15 y 6.16 muestran la distribución de los distintos tratamientos entre el componente CP1 con CP2 y CP3 respectivamente.

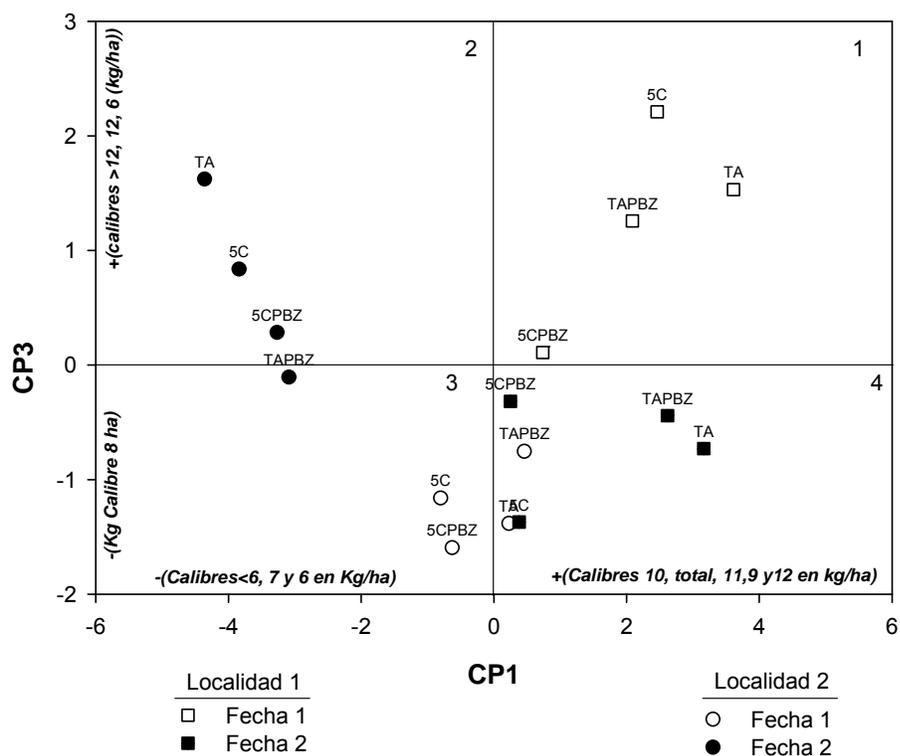
Los datos en la Figura 6.15 se han agrupado los datos de acuerdo a la fecha de siembra principalmente. En ella se observa que todos los tratamientos de la localidad L1 de la fecha de siembra F2 estuvieron ubicados con mejores calibres respecto de los demás tratamientos y que en la fecha de siembra F1 tuvieron buenos calibres pero con un poco más de defectos. Los bulbos de la localidad L2 tuvieron menores calibres y una mayor proporción de defectos.



**Figura 6.15. Análisis de componentes principales 1 vs 2 (CP1 vs CP2) para la calidad de ajo en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2)**

En la Figura 6.16 se muestra el análisis de componentes principales CP1 vs CP3 se observa la ubicación de las fechas de siembra para la localidad 1 en los cuadrantes 1 y 4 (F1 en 1 y F2 en 4), de modo que la siembra temprana obtuvo más rendimiento con menos defectos.

Las dos fechas de siembra para la localidad dos tuvieron el mismo comportamiento que en la Figura 6.15 ubicando a la F1 de la localidad 2 en el tercer y cuarto cuadrante.



**Figura 6.16. Análisis de componentes principales 1 vs 3 (CP1 vs CP3) para la calidad de ajo en dos localidades (L1 y L2) y dos fechas de siembra (F1 y F2)**

El análisis de los datos de calidad de los bulbos cosechados a partir de los distintos tratamientos mostró algunas diferencias importantes que resaltaron una mejor calidad de los bulbos no asociadas a los tratamientos aplicados y si mucho a las condiciones en que cada predio experimental fue manejado.

## **6.5 ETAPA II. Estudio del efecto de temperaturas y fotoperiodo controlados post-siembra, en cámaras de crecimiento sobre acumulación de fructanos.**

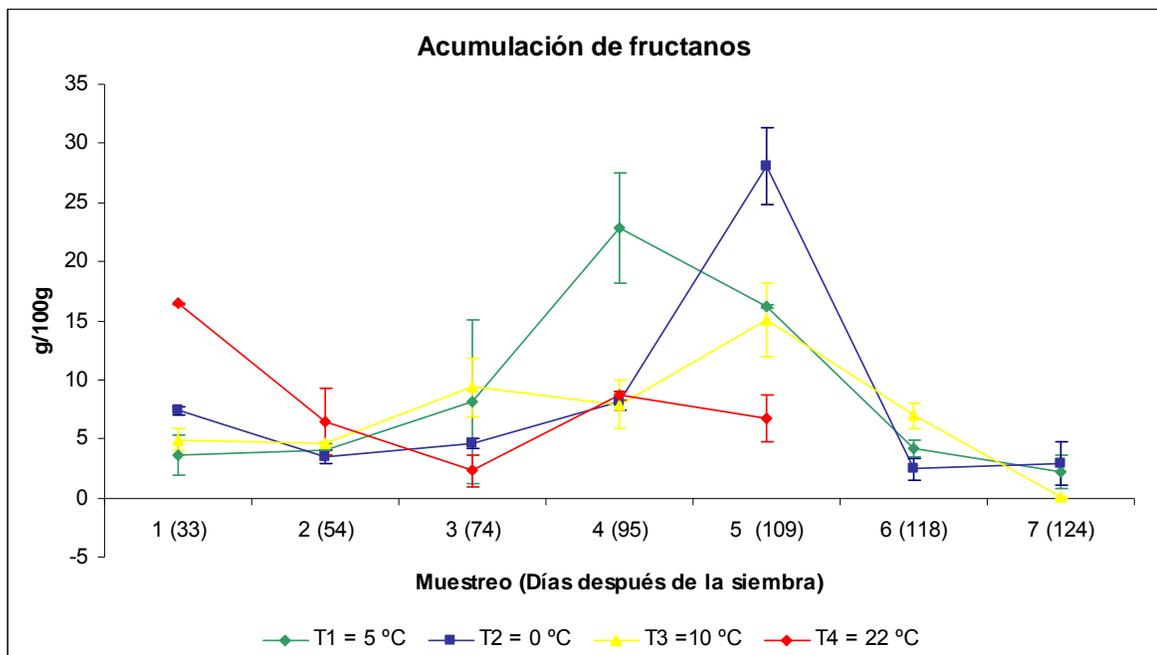
### **6.5.1 Contenido de Fructanos en hojas**

La media de los valores del contenido de fructanos en el presente trabajo fue de 12.5 gr/100 gr entre los distintos tratamientos analizados, lo cual concuerda con los 17.4 gr/100gr reportados por Muir y *col.* (2007) en ajo usando el mismo kit enzimático

En la Figura 6.17, se pueden apreciar los cambios del contenido de fructanos en las hojas de las plantas de ajo 'California Late' durante su ciclo de cultivo; en ella se observó que el tratamiento T4 (22 °C continuo al inicio de los muestreos mostró contenidos de fructanos mayores que todos los demás tratamientos mientras que el tratamiento T2 (0 °C) mostró un contenido constante de fructanos hasta los 95 días después de la siembra para después incrementar de manera súbita y alcanzar un máximo a los 109 días (28.1 gr/100gr de muestra) A partir de ese día, el contenido de fructanos declinó hasta valores (2.4 y 2.9 gr/100gr de muestra lo cual coincidió con la senescencia de las hojas. Para el tratamiento T1 (5 °C) el comportamiento fue similar a T2; no obstante, en este tratamiento el incrementó del contenido de fructanos empezó después de 54 días y alcanzo un máximo el día 95, antes del tratamiento a 0 °C aunque con menores valores (22.85 gr/100gr de muestra). El tratamiento T3 (10 °C) mostró un comportamiento más parecido al tratamiento T2 y sus valores máximos se determinaron el día 109 pero con valores notablemente menores (15.07 gr/100gr de muestra).

El comportamiento del contenido de fructanos en las hojas, señala aspectos importantes que parecen controlar el ciclo de cultivo de esta planta y

seguramente el desarrollo de los bulbos de ajo de la misma. En primer lugar, los datos muestran que el metabolismo de síntesis de fructanos en la planta está controlado por las bajas temperaturas que se presentan durante la primera etapa de desarrollo de la planta; en la medida que las temperaturas son más bajas, el grado de control es mayor y si las temperaturas son intermedias el grado de control es menor (a 5 y 10 °C).



**Figura 6.17 Acumulación de fructanos a través del ciclo de cultivo de ajo California Late a diferentes temperaturas después de la siembra.**

Otro aspecto importante a señalar es que el control de dicho metabolismo se libera cuando existen otras condiciones de temperatura y de fotoperiodo; no obstante, también la liberación de dicho control fue mucho más tardado en las plantas que fueron sometidas a 0 °C en comparación de las plantas que estuvieron a 5 y 10 °C. Adicionalmente a esta observación, también los datos parecen mostrar que la liberación de este metabolismo parece más fuerte en aquellas plantas que estuvieron sujetas a 0 °C. Estos datos concuerdan con las observaciones que tienen los productores respecto a que las temporadas con inviernos más fríos generan bulbos de mejor calidad. Es decir, los inviernos más

fríos controlan el metabolismo de los fructanos y este control se libera en los periodos de primavera (con mayores temperaturas y mayor intensidad de luz) generando más fructanos los cuales se van acumular en el bulbo dando una mayor calidad del mismo.

El tiempo en que los efectos de la temperatura de desarrollo se muestran en el metabolismo de los fructanos, es otro aspecto importante a enfatizar ya que la respuesta no es inmediata y por lo tanto esta respuesta está ligada a otros factores ambientales como las más altas temperaturas durante el ciclo de cultivo y un mayor fotoperiodo como se ha establecido en el presente trabajo; lo cual parece indicar que dicho efecto debe quedar almacenado como una señal dentro de la planta y del cual en este momento no se tiene idea de cuál es el mecanismo que utiliza esta planta para almacenar dicha señal que induce un mayor metabolismo de los fructanos.

La información de la literatura respecto de la influencia de los factores ambientales en el metabolismo y acumulación de fructanos es prácticamente nula en el caso de ajo. No obstante, Miller y col (1997) estudiando la acumulación de fructanos en bulbos de plantas de tulipán plantadas durante 5 semanas a 5 °C y después transferidas a 17 °C durante 3 semanas; señalaron que durante el periodo de frío, el contenido de glucosa y fructosa de los bulbos aumentó, mientras que la sacarosa disminuyó; en la transferencia a 17 °C este comportamiento fue mucho más notable y los fructanos de cadena larga tuvieron un incremento notable al final del periodo de frío, los cuales se vieron disminuidos durante la transferencia de las plantas a 17 °C. Estos datos demuestran que las bajas temperaturas tienen una fuerte influencia en el metabolismo de los fructanos que se acumulan en los bulbos, aunque seguramente este comportamiento puede ser muy específico para cada especie de planta.

En otro tipo de experimentos, Allen y Ort (2001) trabajando con la respuesta de la fotosíntesis a bajas temperaturas en plantas de climas cálidos

sometidas a condiciones controladas de frío, indicaron que la exposición de éstas a dichas condiciones, altera el ritmo circadiano de las mismas y retrasa la actividad de la enzima sacarosa fosfato sintasa, una enzima clave en la síntesis de sacarosa. Si esto ocurre en las plantas de ajo, se esperaría que las condiciones de frío dificultarían la síntesis de sacarosa y por lo tanto de fructanos y estos no serían sintetizados hasta que la enzima estuviera activa bajo condiciones más benignas de clima.

Las anteriores evidencias también parecen indicar que las bajas temperaturas que recibe el cultivo durante la etapa temprana tienen influencia muy marcada sobre el metabolismo de carbohidratos y la duración del ciclo del cultivo de ajo.

Por su parte las condiciones de altas temperaturas también pueden tener efectos adversos; Rahim y Fordham (2005) indicaron que las temperaturas por arriba de 20 °C tienen efecto adverso en el crecimiento y desarrollo del ajo. Cabe mencionar que en la presente investigación, los ajos tratados a 22 °C tuvieron una emergencia y desarrollo acelerado en las primeras etapas de su desarrollo pero no tuvieron la capacidad para sintetizar materiales de reserva y más bien la degradación de los mismos superó la síntesis.

Se ha dicho que la vernalización, el almacenamiento y el desarrollo del cultivo de ajo tienen una marcada importancia desde el inicio del desarrollo de los dientes para dar lugar a una nueva planta hasta el final del cultivo; de modo que los factores ambientales deben mantenerse dentro de determinados intervalos para favorecer el desarrollo óptimo del cultivo (Rahim y Fordham 1988). En la etapa I del presente trabajo, se observó un ligero efecto de los factores de almacenamiento de la 'semilla' que dejaron de manifiesto que las temperaturas usadas en el almacenamiento antes de la siembra tuvieron sólo un efecto parcial en las etapas tempranas del crecimiento de las plantas pero no así en la calidad final del cultivo. Esto señala aun más el vacío de información en este cultivo para

entender plenamente el mecanismo funcional de la acumulación de los fructanos y la consecuente formación de los bulbos.

## VII Conclusiones

### ETAPA I

De acuerdo a los datos generados en el presente estudio se pudieron establecer las siguientes conclusiones.

1. El almacenamiento de los bulbos “semilla” a 5 °C durante 15 días o la aplicación de 1000 ppm de PBZ a los dientes antes de la siembra no tuvo un efecto significativo en el crecimiento y calidad de la cosecha.
2. El adelantar la siembra del ajo por 15 días aparentemente provocó un mayor peso de la planta durante el desarrollo.
3. El desarrollo de planta está muy determinado por los cambios de las temperaturas en la zona de cultivo observándose un rápido crecimiento de las plantas cuando las temperaturas mínimas se situaron entre 5 y 10 °C y las medias entre 15 y 20 °C.
4. El crecimiento estuvo fuertemente influido por el fotoperiodo y la intensidad lumínica máxima diaria; factores que determinan velocidad de la fotosíntesis y ésta a su vez determina la acumulación de nutrientes en la planta.
5. Con respecto a la calidad los ajos sembrados tempranamente (F1) obtuvieron un diámetro mayor con respecto de los sembrados 15 días después (F2) se observó un mayor porcentaje de calibres grandes de la cabeza de ajo. Esto parece sugerir que es recomendable adelantar la fecha de siembra
6. Mediante el análisis de coeficientes de correlación se pudo observar que la correlación de las dimensiones físicas de la planta son altamente significativas de modo que el comportamiento y patrón de una o dos de las variables respuestas nos proporcionará la información de todas las demás.

## ETAPA II

1. El contenido de fructanos en las hojas y por lo tanto su metabolismo parece estar controlado por las temperaturas que tenga el cultivo durante las primeras etapas de desarrollo. La temperatura de 0 °C controló de manera evidente el contenido de fructanos en las hojas.
2. Aunque existió un control de las bajas temperaturas, la liberación de ese control solo se da bajo condiciones de mayor temperatura y mayor cantidad de luz.
3. El mecanismo por el cual se da este control es desconocido pero pudiera estar relacionado directamente con la ruta de síntesis de fructanos.
4. La duración del ciclo del ajo fue directamente proporcional a la intensidad de temperaturas aplicadas después de la siembra, es decir que a mayor temperatura después de la siembra mas corto fue el ciclo del ajo.

## LITERATURA CITADA

- Allen D.J. and D.R. Ort. 2001. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*. 6 (1): 36-42
- Anwar, H.R.M.M. and Rahim, M.A. 1995. Effect of cold treatment and growth regulators on the growth and yield of garlic. En: *Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic*. Eds: Rahim, M. A. and Fordham, R. 2001. *Acta Horticulturae* 555: 180-188.
- AOAC 1995. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 16<sup>th</sup> Ed., Kenneth Helrich E.D. Virginia, USA.
- Ayabe, M. and Sumi, S. 1998 Establishment of a novel tissue culture method, stem-disc culture, and its practical application to micropropagation of garlic (*Allium sativum* L.). *Plant Cell Reports* 17: 773-779.
- Bandara M.S. et al. 2000. Pre-planting chilling requirement for cloving of spring-planted garlic. *J. Plant Science*. 80: 379-384.
- Baumgartner, S., Dax, T.G., Praznik, W. and Falk, H. 2000. Characterisation of the high-molecular weight fructan isolated from garlic (*Allium sativum* L.). *Carbohydrate Research* 328: 177-183
- Bell, A. and Bryan A. 1991. Plant form: An illustrated guide to flowering plant morphology. *In: El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción*, ed. Heredia, G.E., SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Bajío. pp: 24.
- Brewster, J.L. 1994. Onions and other vegetable alliums. Ed. CAB International. 236 p.

- Burba J.L. y Blanco 1986. El índice visual de superación de dormición (IVD) como parámetro para el agrupamiento de cultivares en colecciones y bancos de germoplasma. Novena reunión latinoamericana de horticultura. La plata Argentina.
- Burba J.L. 1992. Producción, propagación y utilización del ajo (*Alium Sativum*) en producción poscosecha procesamiento y comercialización del ajo cebolla y tomates. Santiago de Chile FAO 63-126.
- Butt, A.M. 1968. Vegetative growth, morphogenesis and carbohydrate content of the onion plant as a function of light and temperature under field and controlled conditions. En: Bulbing in onions: photoperiod and temperature requirements and prediction of bulb size and maturity. Lancaster, J. E. Triggs, C.M., De Ruiter, J.M. and Gandar, P.W. 1996. *Annals of Botany* 78: 423-430.
- Cabrera E. and Elliot P. 1996. La cabeza que solo tiene dientes. 1er encuentro sobre agricultura urbana y su impacto en la alimentación de la comunidad 1 (5): 22-23
- Clark, J.E. and Heath, O.V.S. 1962. Studies in the physiology of the onion plant. V. An investigation into the growth substance content of bulbing onions. *J. of Experimental Botany* 13:227-249.
- Davies, P.J. 1995. Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. En: Gibberellin Signaling: Biosynthesis, catabolism and response pathways. Olszewiski, N., Sun, T. and Gubler, F. 2002. *The Plant Cell Supplement*: S61-S80.
- De Resende, G.M., De Souza, R.V., Junior, O. J. and Flori, J.E. 2001. Productividade e qualidade de bulbos de alho em diferentes doses de

paclobutrazol e períodos de refrigeracao. *Cienc. Agrotec.*, Lavras, 25(6): 1343-1350.

Dey, P.M. and Harborne, J.B. 1997. *Plant Biochemistry*. Ed. Academic Press, 554 p

Flores Flores J. 2005. Efecto de la temperature de almacenamiento, tratamientos hidrotermicos y de la bencil adenine en la brotación de ajo (*Allium sativum* L.) variedad PBC-74. Tesis de Quimica de Alimentos Facultad de Quimica Universidad Autonoma de Querétaro.

Frank F. Millenaar, Miquel A. Gonzalez-Meler, James N. Siedow, Anneke M. Wagner, and Hans Lambers, 2002 *J. of Experimental Botany* 53(371): 1081-1088.

Guiñazú M., Abdala G. and Tizio R. 1988. Effect of free and conjugated gibberellins on roots of potato cuttings treated with CCC in relation to tuber formation. En: Quantification of endogenous gibberellins in leaves and tubers of Chinese yam, *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tsukune during tuber enlargement. Sang-Kuk, Kim, Sang-Chul, Lee, Dong-Hyun, Shin, Soo-Won, Jang, Jae-Won, Nam, Tae-Shik, Park and In-Jung, Lee (eds). *Plant Growth Regulation* 39: 125–130.

Hedden, P. and Kamiya, Y. 1997. Gibberellin biosynthesis: enzymes, genes and their regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 48: 431-60.

Hendry, G.A.F. and Wallace, R.K. 1993. The origin, distribution and evolutionary significance of fructanos. En: *Fructan: more than a reserve carbohydrate?* Vijn, I. and Smeekens, S. 1999. *Plant Physiology* 120: 351-359.

Heredia, G.E. 2000. El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción. SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Bajío. pp: 14-102.

<http://www.clima.inifap.gob.mx/redclima/> 2007

[http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeanuadin.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadin.html) 2005

[http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar\\_comfichedos.html](http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html) 2005

[http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdetagr1.html](http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_comdetagr1.html) 2005

Izquierdo, J., Paltrinieri, G. y Arias C. 1992. Producción, poscosecha, procesamiento y comercialización del ajo, cebolla y tomate. FAO. pp: 63-126.

Jackson, S.D. 1999. Multiple signaling path ways control tuber induction in potato. En: Regulation of gibberellin biosynthesis by light. Kamiya, Y. and García-Martínez, J. L. Current Opinion in Plant Biology 2: 398-403.

Jackson, S. and Thomas, B. 1997. Photoreceptors and signals in the photoperiodic control of development. En: Regulation of gibberellin biosynthesis by light. Kamiya, Y. and García-Martínez, J. L. Current Opinion in Plant Biology 2: 398-403.

Jane G. Muir et al. 2007. Fructan and free fructose content of common Australian Vegetables and Fruit. J. Agric. Food Chem. 55, 6619-6627.

Kamiya, Y. and García-Martínez, J.L. 1999. Regulation of gibberellin biosynthesis by light. Current Opinion in Plant Biology 2: 398-403.

- Kato, T. 1965. Physiological studies on bulb formation and dormancy in the onion plant. VI. The relation between the metabolism of gibberellin and nucleic acid and the bulbing phenomenon. En: *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. (eds). 2002. *Annals of Botany* 89: 419-425.
- Kim, S.S. Guo, D.P., Jung, D. C. and Kwon, S.T. 2003. Multiple shoots regeneration and in vitro bulblet formation from garlic callus. *J. of Plant Biotechnology* 5(2): 95-99.
- Knypl, J. S. 1979. Increasing bulb growth in onion with growth retardants and reversal of the effect by gibberellin. En: *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. (eds.) 2002. *Annals of Botany* 89: 419-425.
- Koda, Y. 1997. Possible involvement of jasmonates in various morphogenic events. *Physiologia Plantarum* 100: 639-646.
- Koda, Y. and Okazawa, Y. 1983. Characteristic changes in levels of endogenous plant hormones in relation to the onset of potato tuberisation. *Jpn. J. Crop Sci.* 52: 592–597.
- Kotlinska T.P Naranek M. Navratil. 1990. Collecting onion, Garlic and Wild species of *Allium* in central Asia. *Plant Genetic.* 23 (2) 31-33.
- Koul A.K. y Gohil R.N. 1970. Causes Arventin sexual reproduction in *Allium Satibum*. *Citologia* 35 (1) 197-202.

- Ledesma, A., Racca, W.R. y Reale, M.I. 1983. Efecto de las condiciones de almacenaje y épocas de plantación sobre el crecimiento en ajo (*Allium sativum* L.) cv. Rosado Paraguayo. *Phyton* 43(2): 207-213.
- Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. 2002. *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. *Annals of Botany* 89: 419-425.
- Lercari, B. 1982. The effect of far-red light on the photoperiodic regulation of carbohydrate accumulation in *Allium cepa* L. En: *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. (eds). 2002. *Annals of Botany* 89: 419-425.
- López-Echevarría, G. 2004. Evaluación de los parámetros de calidad de ajo almacenado y efecto de la temperatura de almacenamiento en la ruptura del letargo. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química.
- Martinez Garibay B. 2005. Efecto de la refrigeración y transferencia a temperatura ambiente en la brotación y contenido de giberelinas libres y ligadas en ajo variedad Perla. Tesis de Química de Alimentos, Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro.
- McCleary B.V. et al. 2000 "Determination of Oligofructans and fructans Polysaccharides in foodstuffs by an Enzymatic/Spectrophotometric Method: Collaborative Study". *J. AOAC International* 83, 356-364.
- Mc Collin G.D. 1976. Onion and Allies, *Allium* (Liliaceae) Evolution of crops plants Ed Simond London. p. 186-190.

- Mercado Silva E. 2006. Estudios de expresión molecular de la sub unidad  $\alpha$ -3 del proteosoma 26s y de la enzima copalil difosfato sintasa (cps) durante la brotación de ajo cv pbc-74. Tesis de maestría en ciencias y tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Meza Hernandez S.2005. Estudio de homogenización de la brotación de ajo estimado para siembra y fisiología de ajo mínimamente procesado. Tesis de maestría en ciencias y tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Miller W.B. G. Legnani, A.P. Languala, and M.B. Harding. 1997. Fructan Metabolism in Gheophytes. *Acta Horticulturae*. 430. 117-124
- Mita, T. y Shibaoka, H. 1984. Gibberellin stabilizes microtubules in onion leaf sheath cells. En: Possible involvement of jasmonates in various morphogenic events. Koda, Y. *Physiologia Plantarum* 100: 639-646.
- Moon, W. and Lee, B.Y. 1980. Influence of short day treatment on the growth and levels of endogenous growth substances in garlic plants (*Allium sativum* L.). En: Productividade e qualidade de bulbos de alho em diferentes doses de paclobutrazol e períodos de frigorificacao. De Resende, G.M., De Souza, R.V., Junior, O. J. and Flori, J.E. 2001. *Science Agrotec*. 25(6): 1343-1350.
- Ochotorena M, Santamaria, I., Arregui L.M. and Mingo-Castel, A.M. 1999. En: *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. *Aggregatum* Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. (eds). 2002. *Annals of Botany* 89: 419-425.

- Pilon-Smiths, E.A.H., Ebskamp, M.J.M., Paul, M.J., Jeuken, M.J.W., Weisbeek, P.J. and Smeekens, S.C.M. 1995. Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. En: Fructan: more than a reserve carbohydrate? Vijn, I. and Smeekens, S. 1999. J. Plant Physiology 120: 351-359.
- Purseglove, J. 1985. Tropical crops: Monocotyledons I. En: El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción, ed. Heredia, G.E., SAGAR, INIFAP, Campo Experimental Bajío. pp: 22-23.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 51:501-31.
- Rakhimbaev, I.R. and Ol'shanskaya, R.V.: 1976. Dynamics of endogenous gibberellins during the process of transition of garlic bulbs from the state of dormancy to active growth. Central Botanical Garden, Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Alma-Acta. Translated from Fiziologiya Rastanii, 23 (1): 76-79.
- Rahim M.A. and Fordham R. 1988 Effect of storage Temperature on the initiation and development of Garlic Cloves (*Allium Sativum* L.) Scientia Horticulturae, 37. 25-38.
- Rahim, M.A. and Fordham, R. 1990. Effect of shade and environmental conditions on the initiation and development of garlic cloves (*Allium sativum* L.). Scientia Horticulturae 45: 21-30.
- Rahim, M.A. and Fordham, R. 1994. Control of bulbing in garlic. Acta Horticulturae 358:369-374.

- Rahim, M.A. and Fordham, R. 2001. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. *Acta Horticulturae* 555: 180-188.
- Rahim, M.A. and Fordham, R. 2005. Control of bulbing in garlic. *ISHS Acta Horticulturae* 358: International symposium on Alliums for the tropics. Vol. 54, No. 3-4 p. 171-175.
- Ritsema, T. and Smeekens, S. C. M. 2003. Engineering fructan metabolism in plants *J. Plant Physiol.* 160. 811–820.
- SAGARPA, <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Scholz-Ahrens, K.E., Schaafsma, G., van den Heuvel, E.G., Scherezenmeir, J. 2001. Effects of prebiotics on mineral metabolism. En: Engineering fructan metabolism in plants. Ritsema, T. and Smeekens, S. C. M. 2003. *J. Plant Physiol.* 160. 811–820.
- Shahidur R. et al. 2004 Effect of planting date and Gibberellic acid on the Growth and Yield of Garlic (*Allium Sativum* L.) *Asian J. of Plant Sciences* 3(3): 344-352.
- Simko, I. 1994. Effect of paclobutrazol on *in vitro* formation of potato microtubers and their sprouting after storage. En: *In vitro* bulb development in shallot (*Allium cepa* L. *Aggregatum* Group): effects of anti-gibberellins, sucrose and light. Le Guen-le Saos, F., Hourmant, A., Esnault, F. and Chauvin, E. (eds). 2002. *Annals of Botany* 89: 419-425.
- Takagi, H. and Qu Y. 1995. Effects of light quality, photoperiod and cold treatment o *in vitro* bulbing of garlic shoot tip. *Acta Horticulturae* 393: 181-188.

- Trabu H.P. 1968. The subgenera, section and subsection of *Allium*. *Plant Life* 24 (1) 147-163.
- Van Gestel N. C., A. D. Nestbit, Pefley E.B., and D.T. Tissue 2003. Effect of Photoperiod on Photosynthetic Performance and Carbon Flux of *Allium fistulosum* and *A. cepa*. Proceedings of 88th Annual Meeting of the Ecological Society of America. August 5 2003. Savannah, Georgia USA
- Vreugdenhil D. and Struik P.C. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato (*Solanum tuberosum*). *Physiol. Plantarum* 75: 525–531. En: Quantification of endogenous gibberellins in leaves and tubers of Chineseyam, *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tsukune during tuber enlargement. Sang-Kuk, Kim, Sang-Chul, Lee, Dong-Hyun, Shin, Soo-Won, Jang, Jae-Won, Nam, Tae-Shik, Park and In-Jung, Lee (eds). *Plant Growth Regulation* 39: 125–130.
- Wickramasinghe, U.L., Wright, C.J. and Currah, L. 2000. Bulbing responses of two cultivars or red tropical onions to photoperiod, light integral and temperature under controlled growth conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75:304-311.
- Xu, X., van Lammeren AM, Vermeer and E., Vreugdenhil, D. 1998. The role of gibberellin, abscisic acid and sucrose in the regulation of potato tuber formation in vitro. En: Regulation of gibberellin biosynthesis by light. Kamiya, Y. and García-Martínez, J. L. *Current Opinion in Plant Biology* 2: 398-403.