



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
COMISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



CRECIMIENTO, DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL  
AJO (*Allium sativum* L.) EN RESPUESTA A LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA  
NUTRICIÓN POTÁSICA

Autor: Prof Henry Mujica Rivero

MARACAY, OCTUBRE 2012

Tesis Doctoral presentada como requisito parcial para optar al título de  
Doctor en Ciencias Agrícolas

COMITÉ ACADÉMICO

---

Dra María Pérez de Camacaro  
TUTORA

---

Dr Mauro Albarracín  
ASESOR

## DEDICATORIA

En todas las cosas de la vida, aunque el camino sea difícil, con paciencia, dedicación y esfuerzo siempre habrá una salida para llegar a la meta. Por ello dedico este triunfo.

- A mi país Venezuela, quien espera lo mejor de cada uno de sus hijos para hacerla grande y próspera, a pesar de las adversidades.
- A mis padres, quienes me han dado libertad y confianza para tomar las mejores decisiones y alcanzar las metas propuestas.
- A mi esposa y mis hijos, Henry y Abdiel por su comprensión y paciencia, quienes constituyen mi mayor estímulo para servirles de ejemplo.

A todos aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron.

Gracias.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que todo a Dios Todopoderoso.

A la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho (**FUNDAYACUCHO**) por el financiamiento parcial de mis estudios de Doctorado.

A la **Familia Tamayo** por prestar sus tierras y apoyo para ejecutar la etapa de campo.

A la **UCLA**, por haberme concedido sus instalaciones para el desarrollo de la etapa de laboratorio.

A mi tutora **Dra María Pérez de Camacaro**, por el apoyo, estímulo y orientaciones durante mis estudios de Doctorado.

Al **Dr Edmundo Mercado-Silva** de la Universidad Autónoma de Querétaro (México), por su receptividad durante mi pasantía en esa institución y orientaciones para el análisis de giberelinas mediante la técnica de HPLC.

A la **Dra María Cecilia Perotto** del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-Argentina), por facilitar los reactivos y asesorar desinteresadamente el análisis de los compuestos thiosulfatos.

A la **M.Sc Marielena Sanabria** por el aporte de insumos, consejos y orientaciones para el análisis de los compuestos fenólicos.

A **TSU Aracelis Giménez**, por su invaluable ayuda, consejos y orientaciones en las determinaciones físico-químicas.

A **M. Sc. Javier Lorbes** por su asesoría en los análisis estadísticos.

A mis compañeros y amigos **Carmen Colmenárez y José Orlando Montilla**, por acompañarme en esta meta y brindarme su apoyo en todo momento.

Al personal administrativo del Doctorado en Ciencias Agrícolas, UCV.

A todas aquellas personas que, de una u otra forma dieron su colaboración, para la realización de esta investigación.

*A todos gracias.*

## ÍNDICE GENERAL

	<b>pp.</b>
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
LISTA DE CUADROS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
 CAPÍTULO	
I OBJETIVOS.....	4
General.....	4
Específicos .....	4
 II REVISIÓN DE LITERATURA.....	 5
Aspectos relacionados a la producción de ajo .....	5
Crecimiento y bulbificación del ajo.....	6
Giberelinas durante el crecimiento y bulbificación del ajo.....	9
Fisiología poscosecha del ajo.....	14
Calidad poscosecha en ajo .....	15
Factores que influyen en la intensidad del sabor .....	17
Compuestos orgánicos .....	18
Compuestos organosulfurados .....	19
Allicin.....	20
Determinación de Allicin mediante HPLC .....	21
Compuestos fenólicos .....	21
Flavonoides .....	22
Determinación de fenoles mediante HPLC.....	23
Nutrición mineral en el cultivo de ajo.....	24
El potasio (K) en la producción de los cultivos .....	25
Función del potasio en las plantas.....	27
El potasio en el suelo.....	29
La densidad de siembra en la producción de <i>Allium</i> .....	31
 III MATERIALES Y MÉTODOS .....	 35
Etapa de campo.....	35
Descripción de la zona del ensayo .....	35

Características del suelo	35
Material vegetal .....	36
Fertilización, riego y control fitosanitario .....	36
Diseño experimental.....	37
Evaluación del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo.....	
Variables no destructivas .....	38
Variables destructivas .....	39
Separación y cuantificación de giberelinas (GAs).....	40
Evaluación del estado nutricional y extracción de NPK por el cultivo.....	41
Etapas de almacenamiento .....	41
Diseño experimental .....	41
Evaluación de la calidad del ajo.....	42
Determinación del contenido de Quercetina.....	44
Determinación del contenido de Alicin .....	44
Análisis de los resultados.....	46
IV EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA NUTRICIÓN POTÁSICA SOBRE LOS COMPONENTES DEL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DEL AJO .....	47
Introducción .....	47
Materiales y métodos .....	49
Resultados y discusión.....	50
V EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA NUTRICIÓN POTÁSICA SOBRE EL CONTENIDO DE GIBERELINAS DURANTE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL AJO.....	112
Introducción .....	112
Materiales y métodos .....	114
Resultados y discusión.....	115
VI EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA, LA NUTRICIÓN POTÁSICA Y LAS CONDICIONES DE ALMACENAJE SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DEL AJO .....	126
Introducción .....	126
Materiales y métodos .....	127
Resultados y discusión.....	128

VII EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA, LA NUTRICIÓN POTÁSICA Y LAS CONDICIONES DE ALMACENAJE SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y ORGANOSULFURADOS DEL AJO .....	170
Introducción .....	171
Materiales y métodos .....	172
Resultados y discusión .....	174
VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	188
Conclusiones .....	188
Recomendaciones .....	191
LITERATURA CITADA.....	193

## LISTA DE CUADROS

CUADRO	pp.
1 Niveles relativos para cantidades de potasio en el suelo.....	31
2 Efecto de la densidad de plantas sobre la producción y la intercepción de luz en cebolla cv Augusta.....	33
3 Propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y contenido mineral (NPK) del extracto de suelo (0 – 15 cm) de la parcela experimental al inicio del ensayo.....	36
4 Dosis de aplicaciones de KNO <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) durante las diferentes fases del cultivo.....	37
5 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el número de hojas en ajo criollo morado .....	51
6 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el índice relativo de clorofila en ajo criollo morado .....	54
7 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el índice de área foliar en ajo criollo morado.....	56
8 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la radiación fotosintéticamente activa en ajo criollo morado.....	58
9 Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) y la producción de biomasa (g.planta <sup>-1</sup> ) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra .....	60
10 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la masa fresca del follaje en ajo criollo morado.....	62
11 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la materia seca del follaje en ajo criollo morado.....	64
12 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la masa fresca del bulbo en ajo criollo morado.....	66
13 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la materia seca del bulbo en ajo criollo morado.....	69
14 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el diámetro ecuatorial del bulbo en ajo criollo morado.....	71

15 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el índice de bulbificación en ajo criollo morado.....	74
16 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la tasa de asimilación neta en ajo criollo morado .....	76
17 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el coeficiente de partición en ajo criollo morado .....	78
18 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el ritmo de crecimiento (RC) en ajo criollo morado. ....	80
19 Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y el diámetro ecuatorial del bulbo (cm) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra .....	83
20 Coeficientes de correlación entre el índice relativo de clorofila (IRC) y el coeficiente de partición (CP) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra .....	85
21 Coeficientes de correlación entre el ritmo de crecimiento (RC) y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra .....	87
22 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el rendimiento por planta ( $\text{R.planta}^{-1}$ ), rendimiento por parcela ( $\text{R.Parcela}^{-1}$ ), rendimiento por ha <sup>-1</sup> ( $\text{R.ha}^{-1}$ ) en ajo criollo morado al momento de cosecha .....	89
23 Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y el rendimiento ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.....	94
24 Coeficientes de correlación entre el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.....	
25 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el tejido foliar de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.....	98
26 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la extracción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por las plantas de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra .....	105
27 Propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y contenido mineral (NPK) del extracto de suelo (0 – 15 cm) de las parcelas experimentales al final del ensayo.....	111

28 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre el contenido de ácido giberélico (GA <sub>3</sub> ) en ajo criollo morado a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. ....	117
29 Coeficientes de correlación entre los niveles de GA <sub>3</sub> y el número de hojas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.....	121
30 Coeficientes de correlación entre los niveles de GA <sub>3</sub> y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra...	123
31 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO <sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el porcentaje de pérdida de masa fresca del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C) .....	130
32 Coeficientes de correlación entre el porcentaje de pérdida de masa fresca (%MF) y índice de brotación (IB) a los 30, 60, 90 días después del almacenaje .....	132
33 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO <sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el contenido de materia seca del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C) .....	135
34 Coeficientes de correlación entre la materia seca y el índice de brotación (IB) a los 30, 60, 90 días después del almacenaje.....	137
35 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO <sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre los sólidos solubles totales (SST) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).....	138
36 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO <sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre la acidez total titulable (ATT) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).....	142
37 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO <sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre la relación sólidos solubles totales/acidez total titulable (SST/ATT) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).....	145

38 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el pH del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	148
39 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el contenido de piruvato en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	151
40 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre la luminosidad (L) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). .....	154
41 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el Hue en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).....	156
42 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el Chroma en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	158
43 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre la firmeza (deformación) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	162
44 Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el índice de brotación del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). .....	165
45 Coeficientes de correlación entre la firmeza de los bulbos y índice de brotación (IB) a los 30, 60, 90 días después del almacenaje.....	168

46	Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con $\text{KNO}_3$ sobre el contenido de Quercetina ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha .....	178
47	Cambios en el contenido de Quercetina ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, luego de 30, 60 y 90 días de almacenaje a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	180
48	Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con $\text{KNO}_3$ y las condiciones de almacenaje sobre el contenido de Allicin ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha .....	184
49	Cambios en el contenido de Allicin ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, luego de 30, 60 y 90 días de almacenaje a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	187

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	pp.
1 Síntesis de GAs a partir del ácido mevalónico.....	10
2 Ruta de acción de las GAs durante la germinación de trigo .....	12
3 Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la producción de biomasa (BIO) para las 3 fechas de muestreo evaluadas. T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3 .....	60
4 Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	83
5 Correlación entre el índice relativo de clorofila (IRC) y el coeficiente de partición (CP) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	85
6 Correlación entre el ritmo de crecimiento (RC) y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	87
7 Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en ajo criollo morado a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra .....	90
8 Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y el rendimiento (R) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	94
9 Correlación entre la el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento (R) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	96
10 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con $\text{KNO}_3$ sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el tejido foliar en las plantas de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	102

11 Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO <sub>3</sub> sobre la extracción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por las plantas de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3 .....	108
12 Cromatograma de la giberelina GA <sub>3</sub> extraída de los brotes de ajo criollo morado, cultivado bajo 3 densidades de siembra y 3 dosis de KNO, a los 30, 60 y 90 dds. Líneas: negra D1K1, verde D1K2, azul oscuro D1K3, naranja D2K1, morado D2K2, azul claro D2K3, rosa D3K1, marrón D3K2 y azul cielo D3K3.....	115
13 Correlación entre los niveles de AG <sub>3</sub> y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3 .....	121
14 Correlación entre los niveles de AG <sub>3</sub> y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3.....	123
15 Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la presencia de Quercetina al momento de la cosecha. A=D1K1; B=D1K2; C=D1K3; D=D2K1; E=D2K2.....	175
16 Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la presencia de Quercetina al momento de la cosecha. F=D2K3; G=D3K1; H=D3K2; I=D3K3 .....	176
17 Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la separación del Allicin al momento de la cosecha. A=D1K1; B=D1K2; C=D1K3; D=D2K1; E=D2K2 .....	182
18 Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la separación del Allicin momento de la cosecha. F=D2K3; G=D3K1; H=D3K2; I=D3K3.....	183

## RESUMEN

El cultivo de ajo en Venezuela requiere diferentes estrategias a nivel de campo que permitan optimizar el aprovechamiento de luz, agua y nutrientes para lograr incrementar los rendimientos; así como en el almacén, para preservar la calidad y alargar la vida útil de los bulbos. El crecimiento, desarrollo, producción de la planta y la calidad del bulbo de ajo (*Allium sativum* L.) fueron evaluados a cosecha y durante el almacenaje, en respuesta a la densidad de siembra y la nutrición potásica. La investigación se desarrolló en dos etapas, la primera de campo se llevó a cabo en la zona productora de Sanare, Municipio Andrés Bello del Estado Lara y la segunda de almacenamiento se realizó en el Laboratorio de Poscosecha del Posgrado de Agronomía de la UCLA. La plantación se realizó con semilla asexual de ajo “Criollo” tipo morado proveniente de Carache, Estado Trujillo. Para la etapa de campo se utilizó un diseño de experimento en bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela principal correspondió a las densidades de siembra: 100, 50 y 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, y en las subparcelas se aplicaron las dosis de potasio: 25, 50 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>, empleando como fuente el Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>). El crecimiento, desarrollo y producción del cultivo se determinó por medio del análisis de las variables no destructivas (número de hojas, índice relativo de clorofila, radiación fotosintética activa e índice de área foliar) y destructivas (masa fresca del follaje y del bulbo, diámetro ecuatorial del bulbo e índice de bulbificación, materia seca del follaje y del bulbo, tasa de asimilación neta, coeficiente de partición, ritmo de crecimiento, separación y cuantificación de giberelinas y estado nutricional). Para las variables no destructivas se utilizaron 3 plantas/repetición/tratamiento para un total de 135 plantas. Para las variables destructivas se extrajeron 10 plantas por tratamiento para un total de 90 plantas, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). Para la etapa de almacenamiento se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos en factorial 3<sup>2</sup> x 2 con 4 repeticiones y 5 bulbos/repetición/tratamiento, para un total de 360 bulbos analizados, los mismos se distribuyeron en 2 lotes de 180 bulbos. El primer lote se almacenó a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y el segundo a 10 ± 2 °C con 85% HR, durante 90 días. Para los análisis se tomó una muestra al azar de 4 bulbos/tratamiento. La evaluación de la calidad se realizó al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda), en función de las variables: porcentaje de pérdida de masa fresca, contenido de materia seca, sólidos solubles totales, acidez total titulable, pH, contenido de piruvato, color, firmeza e índice de brotación. Además se determinó el contenido de Quercetina y Allicin en los bulbos. Los resultados indicaron que las plantas crecidas en las parcelas de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y fertilizadas con 100 kg.ha<sup>-1</sup> produjeron el mayor número de hojas, índice relativo de clorofila, índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa, biomasa del follaje y bulbo, materia seca del follaje y del bulbo, diámetro ecuatorial, índice de bulbificación, tasa de asimilación neta y ritmo de crecimiento. Sólo el coeficiente de partición no fue afectado por los factores evaluados. Las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con las dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> tuvieron la tendencia a registrar los rendimientos más altos. En los primeros 60 días de crecimiento, los niveles de NPK en el tejido foliar fueron

mayores en las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y con 25 kg.ha<sup>-1</sup>; al final del ciclo del cultivo estos elementos presentaron mayores valores en las densidades de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y en las dosis tuvieron respuestas diferenciales. En las poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y con 100 kg.ha<sup>-1</sup> se extrajeron las mayores cantidades de NPK. La remoción de estos elementos se acentuó hacia los 60 dds y se mantuvo hasta los 90 días, con excepción del fósforo que disminuyó drásticamente. A los 30, 60 y 90 dds se determinó la presencia de la giberelina GA<sub>3</sub> en el tejido foliar, con tiempo de retención de 4,85 minutos, este compuesto fue afectado por la densidad de siembra y las dosis de KNO<sub>3</sub>. Las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo no afectaron el comportamiento de las variables porcentaje de pérdida de masa fresca, contenido de materia seca, luminosidad, hue, croma y la firmeza durante el almacenamiento a 25 y 10 °C. Las pérdidas en masa fresca, materia seca y firmeza fueron mayores en los bulbos almacenados a 10 °C. Los sólidos solubles totales y la acidez total titulable fueron superiores en los bulbos provenientes de las densidades de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, las dosis de 50 kg.ha<sup>-1</sup> y almacenados a 25 °C. La acidez total titulable se redujo sustancialmente durante el tiempo de almacenaje tanto a 25 como a 10 °C. El contenido de piruvato registró un incremento al final del período de almacenaje en las dos temperaturas estudiadas; mientras que el pH de los bulbos colocados a 10 °C presentó una mayor disminución. Al momento de la cosecha y durante el almacenamiento de los bulbos a 25 y 10 °C se determinó la presencia de Quercetina 3-glucósido y Allicin con tiempos de retención de 12,8 y 5,71 minutos, respectivamente. Se registró una reducción significativa en estos compuestos durante el almacenaje en las dos temperaturas, aunque las concentraciones en los bulbos fueron más estables a 10 °C. En general, la menor densidad de siembra y la mayor dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo favorecieron el crecimiento, desarrollo y producción del ajo morado; mientras que la temperatura de 25 °C preservó la calidad del bulbo durante el almacenamiento.

**Palabras claves:** *Allium sativum*, crecimiento, desarrollo, producción, calidad poscosecha, densidad, nutrición.

## ABSTRACT

Growing garlic in Venezuela requires different strategies in the field to optimize the use of light, water and nutrients, to achieve increased yields as well as in storage to preserve quality and extend the life of the bulbs. The growth, development, yield and quality of the bulb of garlic (*Allium sativum* L.) at harvest and during storage, in response to plant density and potassium nutrition was evaluated. The research was conducted in two experiments, the first field was carried out in the garlic growing regions of Sanare, Lara State and the second storage was performed at the Laboratory of Postharvest Agronomy Postgraduate of UCLA. Planting was done with asexual seed garlic purple type from Carache, Trujillo State. For the stage of field experiment design was a randomized complete block arrangement of treatments in a split plot, where the main plot to plant densities: 100, 50 and 33.33 plants.m<sup>-2</sup>, and the subplots were applied potassium doses: 25, 50 and 100 kg.ha<sup>-1</sup>, using as a source of Potassium Nitrate (KNO<sub>3</sub>). The growth, development and yield was determined by analysis of non-destructive variables (number of leaves, relative chlorophyll index, photosynthetically active radiation and leaf area index) and destructive (fresh mass of foliage and bulb, diameter equatorial of bulb and bulb formation rate, dry matter of foliage and bulb, net assimilation rate, partition coefficient, growth rate, separation and quantification of gibberellins and nutritional status). For non-destructive variables were used 3 plants/replicate/treatment for a total of 135 plants. For destructive variables were extracted 10 plants per treatment for a total of 90 plants at 30, 60 and 90 days after planting (dap). In the storage stage experiment design was a completely randomized arrangement of treatments in factorial 3<sup>2</sup> x 2 with 4 replications and 5 bulbs / replicate / treatment, for a total of 360 bulbs analyzed. They were divided into 2 batches of 180 bulbs. The first batch was stored at room temperature (25 ± 2 °C and 70% RH) and the second at 10 ± 2 °C with 85% RH, for 90 days. For the analysis took a random sample of 4 bulbs/treatment. The quality assessment was performed at the time of harvest, 30, 60 and 90 days after storage (das), depending on the variables: percentage loss of fresh mass, dry matter content, total soluble solids, titratable acidity, pH, content of pyruvate, color, firmness and rate of germination. Also determined the content of quercetin and Allicin on the bulbs. The results indicated that plants grown in plots of 33.33 plants.m<sup>-2</sup> and fertilized with 100 kg.ha<sup>-1</sup> produced the highest number of leaves, relative chlorophyll index, leaf area index, photosynthetically active radiation, foliage and bulb biomass, dry matter of foliage and bulb, equatorial diameter, bulb formation rate, net assimilation rate and growth rate. Only the partition coefficient was not affected by the factors evaluated. The populations of 100 plants.m<sup>-2</sup> with the doses of 100 kg.ha<sup>-1</sup> tended to record higher yields. In the first 60 days of growth, NPK levels in leaf tissue were higher in 100 plants.m<sup>-2</sup> and 25 kg.ha<sup>-1</sup>, at the end of the cycle these elements had higher values at 33.33 plants.m<sup>-2</sup> and doses had differential responses. In 33.33 plants.m<sup>-2</sup> and 100 kg.ha<sup>-1</sup> were extracted greater amounts of NPK. The removal of these elements are emphasized to the 60 dap and was maintained up to 90 days, with the exception of phosphorus decreased dramatically. At 30, 60 and 90 dap was determined the presence of the gibberellin GA<sub>3</sub> in leaf tissue, with a retention time of 4.85 minutes, this compound was affected by the density and the dose of KNO<sub>3</sub>. The densities and

doses of  $\text{KNO}_3$  applied field did not affect the behavior of the variables percentage loss of fresh mass, dry matter content, brightness, hue, chroma and firmness during storage at 25 and 10 °C. Losses in fresh mass, dry matter and firmness were higher in bulbs stored at 10 °C. The total soluble solids and titratable acidity were higher in the bulbs from 100 plants.m<sup>-2</sup>, doses of 50 kg.ha<sup>-1</sup> and storage at 25 °C. The total titratable acidity decreased substantially during both storage conditions at 25 to 10 °C. The content of pyruvate was increased at the end of the period of storage at two temperatures studied, while the pH of the bulbs placed at 25 °C showed a greater decrease. At the time of harvest and during storage of bulbs at 25 and 10 °C was determined the presence of Quercetin 3-glucoside and Allicin with retention times of 12.8 and 5.71 minutes, respectively. There was a significant reduction in these compounds during storage in the two temperatures, although the concentrations in the bulbs were more stable at 10 °C. In general, the lowest density and the highest dose of  $\text{KNO}_3$  applied field favored the growth, development and production of purple garlic, while the temperature of 25 °C preserved the quality of the bulb during storage.

Keywords: *Allium sativum*, growth, development, yield, postharvest quality, density, nutrition.

## INTRODUCCIÓN

Las especies hortícolas poseen una serie de características que las hacen importantes en el contexto nacional e internacional: altos volúmenes de producción en pequeñas áreas, alta demanda por su valor nutritivo o medicinal, y gran generación de empleo en el campo y la agroindustria (Calderón *et al.*, 2003).

El ajo (*Allium sativum* L) es una planta hortícola anual que pertenece a la familia *Alliaceae*. Es la segunda especie del género *Allium* más utilizada en el mundo, después de la cebolla. Sus hojas e inflorescencias jóvenes son consumidas como vegetales verdes, mientras que los bulbos frescos sirven para condimento y agente aromático en la cocción de muchos alimentos (Kamenetsky, *et al.*, 2003). Además, grandes cantidades del producto son empleadas en la industria farmacéutica (Kik *et al.*, 2001).

En Venezuela, el ajo es cultivado en pequeña escala por muchos productores, principalmente para el consumo fresco a través de la distribución en mercados locales, mientras que en los países industrializados se explota en grandes dimensiones dirigida al procesamiento (Mujica y Pérez, 2006). Para el año 2010, la producción mundial fue de 16,93 millones de toneladas métricas (TM), destacando China con 80,6% de la producción, seguido por India, Corea y Egipto. Por su parte, Venezuela obtuvo una producción de 12800 t y una superficie sembrada de 1600 ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2010).

Las principales zonas productoras del país corresponden a los Estado Mérida, Táchira, Trujillo, Lara y Aragua (INIA, 2008). La época de siembra va desde Septiembre a Marzo, dependiendo de la localidad, la variedad y la fecha de cosecha deseada (Mujica, 2002). La producción se ha desarrollado mediante prácticas hortícolas muy integradas a aspectos socioculturales característicos de la zona andina y con poca tecnología, lo que afecta los rendimientos y la calidad en comparación con otros países.

Algunas características de calidad del ajo como el tamaño del bulbo y el color están en función a la preferencia del consumidor y tienen un fuerte control genético, aunque se ha realizado una selección de los cultivares a través del tiempo (Watkins y

Pritts, 2001). Asimismo, es importante señalar que factores determinantes de la producción asociados a labores hortícolas, así como a las condiciones climáticas afectan la calidad poscosecha del producto.

En las zonas productoras de ajo, la aplicación de sistemas de fertilización poco eficientes y el uso de bajas densidades de siembra se reflejan en altos costos de producción, bajos rendimientos, baja calidad y grandes pérdidas poscosecha (Añez y Espinoza, 2003). El manejo inadecuado de estas prácticas han contribuido a que los productores hayan perdido competitividad en el mercado nacional, disminuyendo el área de siembra de este rubro en los últimos años (INIA, 2008).

En este contexto, para lograr un mayor aprovechamiento del área sembrada y buenos rendimientos en el cultivo del ajo, es necesario realizar una adecuada y racional fertilización para mantener en el suelo un alto nivel de fertilidad, debido a la limitada capacidad de extracción que poseen las raíces del ajo (Brewster, 2001). Se ha determinado que los elementos minerales de mayor provecho para la producción de este rubro son nitrógeno y potasio (Gaviola y Lipinski, 2008). En el caso del potasio, su deficiencia influye sobre la calidad del bulbo ya que afecta la síntesis de fotosintatos y su transporte hacia el mismo, reduciendo su conversión en almidón, proteínas y vitaminas (Mengel, 1997; Hosseinpur y Safari, 2007). Además, reduce la vida útil del bulbo ya que condiciona la capacidad de almacenaje al inducir un aumento en la actividad enzimática y la tasa de respiración del producto (Marschner, *et al.*, 1996; Hosseinpur y Safari, 2005).

Con respecto a la densidad de siembra, se presenta una gran variabilidad entre los productores, con distancias que van desde 3 a 15 cm entre plantas y 10 a 90 cm entre hileras, reflejándose grandes variaciones en el número de plantas por ha<sup>-1</sup> y afectando directamente la producción (INIA, 2008). El número de plantas por área está directamente relacionado con el rendimiento y la calidad del cultivo, por lo que se requiere un manejo muy ajustado de la densidad para controlar los costos de producción y reducir los riesgos de competencia entre las plantas para el aprovechamiento de luz, agua y nutrientes (Gaviola y Lipinski, 2002).

Por otra parte, la mayoría de las investigaciones en hortalizas se han enfocado hacia la fecha y densidad de siembra, manejo del suelo, nutrición, tamaño del

producto y reguladores de crecimiento (Huchette *et al.*, 2007). Sin embargo, a nivel nacional ocasionalmente aquellos aspectos relacionados con la calidad y vida útil de los productos hortícolas han sido considerados prioritarios.

En este sentido, el mercado internacional de hortalizas se sostiene en la utilización de tecnologías poscosecha exitosas, tales como una excelente clasificación de los productos mediante la estandarización de normas de calidad, y el incremento de la vida útil de los mismos con el uso de almacenaje en frío, atmósferas modificadas y en menor proporción las atmósferas controladas (Watkins y Pritts, 2001). No obstante, en los países en vías de desarrollo como Venezuela existen claras limitaciones para el almacenaje de las frutas y de los vegetales producidos, presentándose muchas variaciones en respuesta a los métodos u otros tratamientos poscosecha utilizados (Pérez, 2000), situación a la que no escapan los bulbos de ajo.

El almacenaje del ajo es fundamental para proveer un producto sano y de calidad que pueda satisfacer la preferencia del consumidor (Cantwell *et al.*, 2003); por lo tanto, sería interesante mejorar las técnicas para alcanzar este propósito. Según Mogren *et al.* (2005), el concepto de calidad en *Allium* incluye la parte externa e interna, lo cual determina que el producto pueda tener buena apariencia y mantener sus características de calidad aún después de un largo tiempo de almacenaje y el consiguiente transporte hasta el mercado final. Sin embargo, en Venezuela la información actualizada sobre la fisiología y el manejo poscosecha del ajo durante el almacenaje es aún escasa, por lo tanto es necesario dilucidar estos procesos para prevenir las pérdidas de calidad y alargar la vida útil del producto (Mujica y Pérez, 2006).

Con base en las consideraciones anteriores se plantea la siguiente tesis, cuyo propósito es generar información que permita aplicar técnicas y métodos para el cultivo y manejo del ajo en el país, enmarcado en los objetivos que se describen a continuación.

## **CAPITULO I**

### **OBJETIVOS**

#### **GENERAL**

Evaluar el crecimiento, desarrollo, producción de la planta y la calidad del bulbo de ajo (*Allium sativum* L.) a la cosecha y durante el almacenaje, en respuesta a la densidad de siembra y la nutrición potásica.

#### **ESPECÍFICOS**

1. Analizar el efecto de la densidad de siembra y la nutrición potásica sobre el crecimiento, desarrollo y producción del ajo.
2. Cuantificar los niveles endógenos de giberelinas durante las fases de desarrollo del cultivo y su relación con la formación del bulbo.
3. Determinar los cambios en las características físicas y químicas del bulbo durante el almacenaje a temperatura ambiente (25 °C) y bajo refrigeración (10 °C), en respuesta a los factores evaluados en campo.
4. Separar y cuantificar los compuestos fenólicos y thiosulfinatos del bulbo de ajo durante el almacenaje a temperatura ambiente (25 °C) y bajo refrigeración (10 °C).

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### Aspectos relacionados a la producción de ajo

Con aproximadamente 5000 a 7000 años de existencia, el ajo es una de las plantas que actualmente se usa como hortaliza, especie o hierba medicinal. El ajo es originario de Asia Central (Etoh, 1997), su cultivo se extiende desde los países asiáticos y latinos hasta América del Norte con éxito considerable.

De acuerdo con Jacqueline (2010), el mercado mundial de ajo ha crecido gracias a los cambios producidos en los hábitos de consumo. Se reconocen cuatro grandes centros de producción y consumo: el primero es el centro asiático, formado por China, India, Indonesia, las dos Coreas y Tailandia que producen el 89,15% del ajo del mundo; el segundo es el centro europeo integrado por España, Francia e Italia (a los que se agregan Egipto y Turquía por su proximidad geográfica) que aportan el 4,29% de la producción mundial; el tercer grupo esta conformado por Africa con 3,14% y finalmente América cuyo aporte es 3,41%, de esta cantidad Brasil, Argentina y Chile, producen alrededor del 1,5% (FAOSTAT, 2010).

Considerando los volúmenes de producción a nivel mundial durante los últimos años, ésta se ha incrementado en los países asiáticos, en tanto que hay una notable disminución en los países de América del Sur, con un rendimiento promedio de 13958 kg ha<sup>-1</sup>. La producción en Venezuela se encuentra muy por debajo de los estándares internacionales con una superficie sembrada de 1600 ha<sup>-1</sup> y una producción de 12800 t para un rendimiento promedio de 8000 kg ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2010), cultivándose principalmente en 5 Estados del país (Mérida, Táchira, Trujillo, Lara y Aragua), los cuales concentran el 100% de la superficie sembrada a nivel nacional (INIA, 2008).

## Crecimiento y bulbificación del ajo

En el cultivo de ajo, los factores ambientales que más afectan la ontogenia son el fotoperíodo, el frío de almacenaje y la temperatura de crecimiento, pero el efecto de éstos depende del estado fenológico de la planta (Tagaki, 1990). El período de crecimiento y bulbificación varía mucho entre años, fechas de siembra y localización, indicando una fuerte interacción genotipo – ambiente (Del Pozo *et al.*, 1997).

En este sentido, la emergencia de los brotes es controlada mayormente por la temperatura, en ausencia de dormancia, mientras que la iniciación del bulbo es promovida por la exposición previa de los “dientes” a frío, el fotoperíodo y la temperatura de crecimiento (Rahim y Fordham, 2001).

Stahlschmidt *et al.* (1997) dividieron el ciclo de crecimiento del cultivo en tres fases: una inicial de crecimiento lento, seguida de otra donde se produce un incremento exponencial de la masa del bulbo y comienza con la formación de los “dientes”, y una final que corresponde a un rápido aumento lineal de la masa del bulbo terminando en la cosecha. Sin embargo, la dinámica de crecimiento de la parte aérea de la planta en relación con la del bulbo durante las distintas etapas de la ontogenia del cultivo ha sido poco estudiada a nivel fisiológico (Lallemand *et al.*, 1997).

Desde el punto de vista vegetativo, la etapa de brotación se ha definido como la emergencia de raíces y primeras hojas a expensas de las sustancias de reserva del “diente”, diferenciado potencialmente durante la poscosecha (Argüello *et al.*, 1997). Luego de la emergencia de las hojas, comienza la etapa de crecimiento de la masa foliar, la cual se puede evaluar mediante diferentes variables como número de hojas, altura de plantas, masa fresca, materia seca, y sus interrelaciones (Ledesma *et al.*, 1997).

La temperatura de almacenaje de los bulbos antes de la siembra afecta la velocidad de gelado del diente luego de la misma, así como el vigor de crecimiento y la forma de la planta (Del Pozo *et al.*, 1997). Algunos cultivares almacenados a 20 °C o más retrasan el gelado y crecen lentamente después de este proceso, mientras que

los bulbos almacenados entre 5 y 10 °C grelan rápidamente y producen plantas con hojas anchas y buen cuello (Argüello *et al.*, 1997).

Con respecto a la formación del bulbo, Shah y Kothari (1997) afirman que es un proceso morfogénico en el cual las hojas de reserva, comúnmente conocidas como “dientes”, se desarrollan de las yemas axilares de las hojas envainadoras, estableciéndose dos estados: una etapa inductiva controlada por bajas temperaturas y días largos, y otra morfológica cuantitativamente dependiente de las condiciones termo y fotoperiódicas.

Según Ledesma *et al.* (1997), la bulbificación comienza con un pequeño ensanchamiento en la base de las hojas envainadoras producto de la formación de los primeros “dientes”, éstos emergen de las yemas axilares de las hojas internas desde el centro hacia la periferia del bulbo (Lallemand *et al.*, 1997). Definiéndose el momento de iniciación cuando el diámetro del bulbo es dos veces mayor al diámetro del pseudotallo (Del Pozo *et al.*, 1997). Los radios de bulbificación se incrementan de 1,2 cm en la fase vegetativa hasta 5 cm o más cuando la planta está madura (Stahlschmidt *et al.*, 1997).

El crecimiento de los dientes está en función de la biomasa aérea producida y del aporte de los fotoasimilados, y puede ser evaluado por el incremento de materia seca y el traslado de asimilados mediante un coeficiente de partición (Brewster, 2001). Diversos estudios fisiológicos en condiciones controladas han demostrado que el “diente” de ajo puede presentar diferentes grados de desarrollo, dependiendo de las condiciones ambientales de cultivo, el genotipo y el tamaño del diente “semilla” (Del Pozo *et al.*, 1997, Nuñez *et al.*, 1997, Huchette *et al.*, 2005).

La formación del bulbo de ajo es estimulada por la longitud del día, la temperatura y el espectro de luz. Los fotoperíodos largos y las altas temperaturas inmediatamente después de la siembra promueven la rápida diferenciación y formación de los primeros dientes antes de la ramificación axilar resultando en un bulbo con uno o pocos dientes (Del Pozo y González, 2005). Al contrario, la formación de las yemas axilares se favorece con temperaturas bajas y fotoperíodos cortos después de la siembra, seguida de un incremento de éstos lo que promueve la diferenciación de las yemas y el desarrollo de un bulbo con muchos dientes

(Ledesma *et al.*, 1997, Huchette *et al.*, 2005). Para ello tiene que ocurrir el rompimiento de la dominancia apical lo cual permite la formación de las yemas axilares con la consiguiente diferenciación de varias hojas almacenadoras que se transforman en dientes (Nuñez *et al.*, 1997, Shah y Kothari, 1997).

Al respecto, Del Pozo y González (2005) reportaron que todas las plantas de ajo chileno blanco formaron bulbos cuando el fotoperíodo estuvo sobre 14 h y la temperatura de almacenaje fue 4 ó 7 °C, mientras que aquellas cultivadas con fotoperíodos de 8, 10 ó 12 h, con cualquiera de las temperaturas probadas no bulbificaron. En experimentos bajo invernadero, Del Pozo *et al.* (1997) trabajaron con 13 clones y encontraron que el almacenaje de los bulbos a 4 °C durante 4 semanas redujo el tiempo desde la siembra hasta la emergencia de los brotes en todos los clones, mientras que el almacenaje a 12-15 °C retrasó este proceso y sólo 3 de ellos formaron bulbos.

Con relación al estado reproductivo, en el trópico generalmente la planta no alcanza la floración y bajo algunas condiciones no ocurre la formación de bulbos manteniéndose en crecimiento vegetativo (Volk *et al.*, 2009). Sin embargo, en Asia Central se han colectado algunos clones fértiles que logran emitir el vástago floral y la inflorescencia en forma de umbela (Etoh, 1997). Al respecto, Kamenetsky *et al.* (2004), reconocieron 4 fases en la ontogenia floral de ajo: transición del meristemo apical, elongación del escapo, diferenciación de los primordios y desarrollo completo de la flor.

Kamenetsky *et al.* (2005) determinaron que las bajas temperaturas de almacenaje y de crecimiento combinadas con largos fotoperíodos promovieron la elongación del escapo floral, mientras que las temperaturas cálidas y fotoperíodo largo indujo la translocación de reservas hacia los dientes, provocando la degeneración de la inflorescencia.

Recientes estudios moleculares han establecido un nuevo sistema de clasificación para el ajo, agrupando subespecies que son de crecimiento acamado o de crecimiento vertical llamadas *ophioscorodon* y *sativum*, respectivamente (Etoh y Simon, 2002). *Allium sativum ssp ophioscorodon* incluye los cultivares tipo cuello duro que producen escapos o tallos florales y tienden a formar una sola capa de

dientes alrededor de esa estructura, mientras que *Allium sativum ssp sativum* comprende los cultivares tipo cuello blando que no originan el escapo, desarrollando bulbos de 12 a 20 dientes encerrados en 3 o 6 capas (Volk *et al.*, 2009).

Por otra parte, uno de los procesos fisiológicos mas comunes en ajo, es la formación de brotes anchos y rígidos en el cuello de la planta como consecuencia del crecimiento secundario antes de completar la formación del bulbo (Tagaki, 1990). Esto ocurre en el campo cuando el desarrollo de las catáfilas de reserva ha ocurrido, pero la formación de las hojas protectoras no ha finalizado (Brewster, 2001).

Estos brotes laterales llamados cintas, generan defectos en la forma y reducen la calidad de los dientes del bulbo. Al momento de la cosecha los bulbos tienen apariencia irregular y rugosa, ligeramente firmes y con gran espacio entre los dientes, con hojas envainadoras que parecen cintas bajo una cobertura normal, de manera que en esas condiciones los bulbos no alcanzan una mayor demanda en los estándares de mercado fresco (Portela, 2001). De acuerdo con Tagaki (1990), las condiciones ambientales externas favorecen la formación de yemas laterales en la axila de algunas hojas jóvenes, inhibiendo la formación de las hojas protectoras.

En ajo las condiciones térmicas antes y después de la siembra, la longitud del día, la disponibilidad de agua y nitrógeno y la densidad de siembra son factores involucrados en el desarrollo de las ramas (Shah y Kothari, 1997). Sin embargo, el grado de ramificación dado por la combinación de esos factores presenta una gran variabilidad según el grupo fisiológico y el genotipo (Portela, 2001).

### **Giberelinas durante el crecimiento y bulbificación del ajo**

La brotación y el letargo en *Allium* parecen estar bajo control de una compleja interacción de promotores e inhibidores endógenos de crecimiento, algunos de los cuales han sido aislados e identificados (Brewster, 1986). Rakhimbaev y Ol'shanskaya (1981) reportaron un incremento en la actividad de las giberelinas (GAs) al comparar ajos en estado de letargo con otros cuyo proceso de brotación estaba adelantado. Estos autores indicaron la posibilidad de que las GAs se

encontraran preformadas ligadas a un azúcar y que, probablemente, éstas solo pasaban de un estado inactivo (ligadas) a activo (libres) durante el rompimiento del letargo.

De acuerdo a su nomenclatura química, las GAs se caracterizan por un anillo tetracíclico llamado ent-giberelina. La primera etapa de la síntesis de las giberelinas es la formación de GA<sub>12</sub>-aldehído a partir del ácido mevalónico (Figura 1).

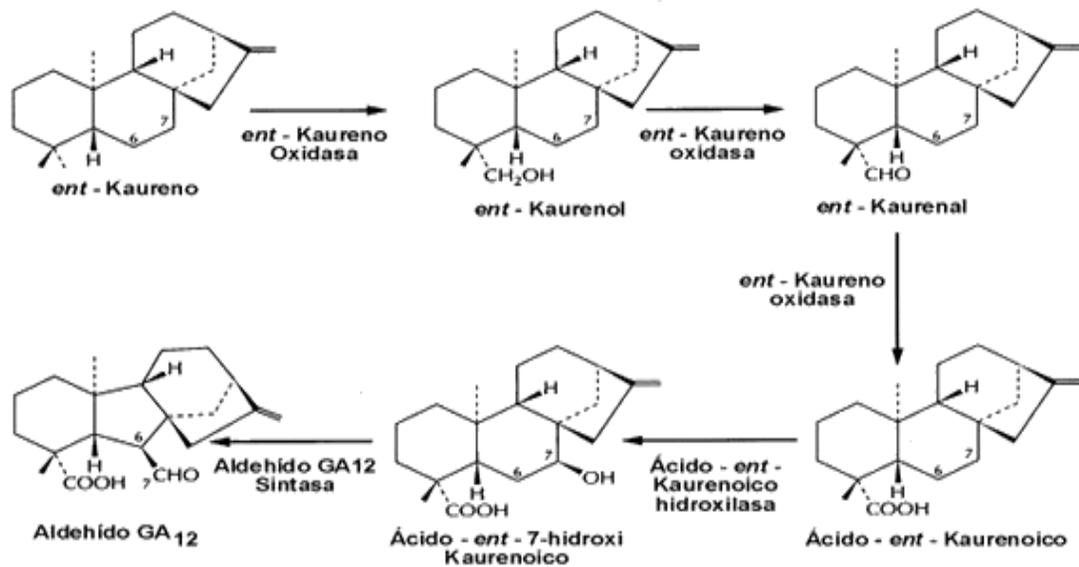


Figura 1. Síntesis de GAs a partir del ácido mevalónico (Jones y McMillan, 1990).

Existen muchas evidencias de que las giberelinas (GAs) son por sí mismas reguladores endógenos, aunque pueden interactuar directa o indirectamente con las auxinas y otras hormonas vegetales (Jones y McMillan, 1990). Se ha demostrado que la aplicación de ácido geberélico (GA) estimula la producción de ácido indolacético (IAA) en algunas plantas, y sus efectos fisiológicos son similares a aquellos provocados por auxinas, como la elongación del tallo, reversión del enanismo, inducción de la floración en plantas fotoperiódicas dependientes de la temperatura,

promoción del amarre del fruto, rompimiento del letargo, y aceleración de la germinación, entre otros (Taíz y Zeiger, 2006).

Generalmente, se asume que factores ambientales como temperatura y luz junto a otras fitohormonas afectan los niveles endógenos de GAs en la planta, mediante cambios de flujo en la ruta de su biosíntesis (Hedden y Phillips, 2000), lo cual puede alterar la concentración y/o modificar la respuesta a ellas (Achard *et al.*, 2006). En los últimos años ha quedado firmemente establecido que la mayor giberelina bioactiva es GA<sub>1</sub>, demostrado en arvejas aplicando pequeñas gotas durante las primeras 24 horas de exposición a la luz (Gil y García, 2000; O'Neill *et al.*, 2000). Anteriormente este aspecto no estaba claro debido a que los niveles de GA<sub>1</sub> en los brotes después de 24 horas de exposición a la luz eran similares a aquellos encontrados en plantas crecidas en oscuridad (O'Neill *et al.*, 2000). La marcada diferencia en la elongación del tallo entre plantas crecidas en luz u oscuridad pudiera ser atribuido a una reducción en la respuesta de los tejidos de crecimiento del tallo a GA<sub>1</sub> (Reid *et al.*, 2002).

Diferentes estudios han mostrado que la luz controla la síntesis de GAs y por lo tanto el desarrollo de la planta vía fitocromo y el mejor ejemplo es la luz regulada para la germinación de la semilla en lechuga (Itoh *et al.*, 2004) y arábido (*Eriksson et al.*, 2006). En semillas, las GAs promueven la biosíntesis de diversas enzimas hidrolíticas como amilasas, proteasas y ribonucleasas requeridas para los procesos de germinación y el desarrollo del retículo endoplasmático, actuando como un sistema de transporte intracelular (Otsuka *et al.*, 2004; Stavang *et al.*, 2005). Por su parte Palmer (1989) indicó que durante la germinación, el embrión sintetiza GAs que son transportadas a las células aleurónicas, induciendo la nueva síntesis de enzimas hidrolasas que degradan el complejo almidón-proteína-hemicelulosa en azúcar, péptidos y aminoácidos que son transferidos al embrión para su crecimiento (Figura 2).

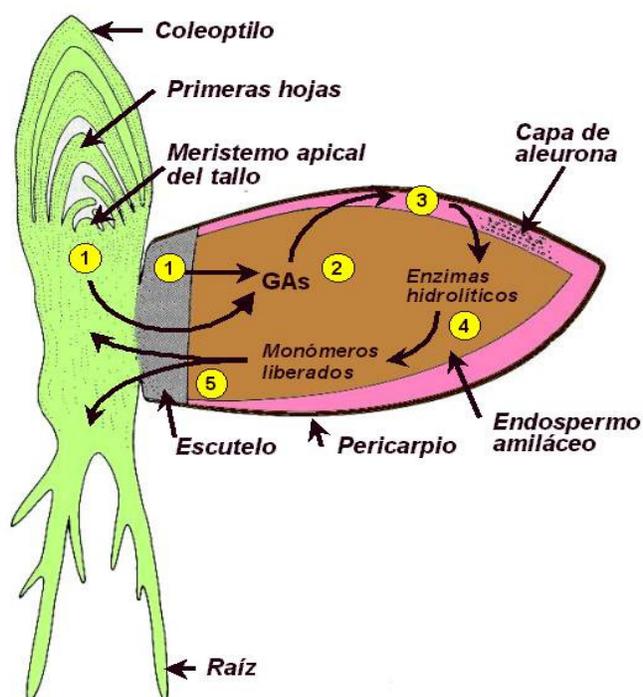


Figura 2. Ruta de acción de las GAs durante la germinación de trigo (Palmer, 1989).

En un estudio con mutantes deficientes del fitocromo A y/o el fitocromo B bajo un rango de condiciones de luz, Reid *et al* (2002) sugirieron que el fitocromo A y un receptor de luz azul están involucrados en la regulación de los niveles de GA<sub>1</sub> durante las primeras etapas de elongación del brote de arvejas, pero el fitocromo B no parece estar envuelto en este proceso. O'Neill *et al* (2000) encontró que durante la etiolación de brotes de soya primero ocurrió una rápida reducción en los niveles de GA<sub>1</sub>, seguido por una reducción en la respuesta a esta giberelina, lo cual provocó una inhibición en la elongación del brote aún cuando los valores de GA<sub>1</sub> retornaron a niveles homeostáticos.

Por otra parte, las GAs juegan un rol clave en los procesos de formación de órganos de almacenaje. La formación de bulbos se considera un proceso morfogénico influido por hormonas al igual que el desarrollo de tubérculos, donde se considera que es esencial una reducción en los niveles de GAs (Jakson *et al.*, 2000; Kim *et al.*,

2003). Se ha comprobado que la tuberización se retrasó con la aplicación de GAs (Vreugdenhil y Sergeeva, 1999) y se promovió utilizando retardantes de crecimiento que inhiben su biosíntesis (Jakson *et al.*, 2000), confirmando que este proceso es controlado por una adecuada relación de esta fitohormona (Achard *et al.*, 2006).

Los niveles endógenos de GAs han sido cuantificados para la tuberización *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.) en relación a los diferentes estados de elongación de los estolones y formación de los tubérculos (Xu *et al.*, 1998). Estos autores encontraron que el contenido de GA<sub>1</sub> en los estolones fue alto cuando ellos se encontraban en el proceso alargamiento celular, y disminuyó después de la transferencia a condiciones inductoras con alta concentración de sacarosa.

En el caso de *Allium*, se ha determinado que la bulbificación de cebolla (*Allium cepa* L.) es controlada por el fotoperíodo y los niveles de GAs (Yamaguchi *et al.*, 2008). Estos últimos autores reportaron que las GAs estabilizan los microtúbulos y actúan de manera opuesta al estímulo del día largo, lo cual redujo el número de estos y alteró su orientación transversal, sugiriendo una acción en contra del proceso de formación del bulbo.

Por su parte, Le Guen *et al.*, (2002) observaron que el crecimiento *in vitro* de chalote (*Allium cepa* L. Grupo *Aggregatum*) bajo condiciones de luz fluorescente con rojo lejano y presencia de GA<sub>3</sub> en el medio de cultivo impidió la formación del bulbo. De igual manera, Kim *et al.*, (2003) encontraron que la adición de GA<sub>3</sub> al medio suprimió significativamente la formación de los dientes en ajo *in vitro*, por lo tanto sugieren que este proceso puede ser alterado por el desbalance de los reguladores de crecimiento utilizados para inducir la formación del bulbo.

Los sistemas de biosíntesis *in vitro* han sido usados para identificar el punto de interacción de los inhibidores en la ruta de síntesis de GAs (Rademacher, 2000). De esta manera, Ancimidol (Ancy) y Paclobutrazol (PBZ) son compuestos con un heterociclo de nitrógeno que inhibe este proceso a nivel de conversión del entkaureno a ácido ent-kaureónico (Figura 1), reportándose su efecto positivo para la tuberización en papa bajo días largos y cortos (Jakson *et al.*, 2000), así como el almacenaje de nutrientes en ajo (Le Guen *et al.*, 2002).

Rahim y Fordham (2001) establecieron que la aplicación de Cicocel y PBZ antes de la siembra, mejoró el desarrollo del bulbo de ajo. Además, la combinación de éstos con ácido abscísico (ABA) redujo el tiempo de inicio de la bulbificación comparado con el efecto del ABA solo donde el bulbo no creció hasta 14 semanas después de la siembra. Le Guen *et al.*, (2002), utilizando Ancy, PBZ y Flurprimidol determinaron que el desarrollo de los bulbos fue entre 30 y 60% superior que el control promoviendo el crecimiento de las raíces.

Estudios recientes han demostrado la presencia de GAs en extractos metanólicos de ajo cvs Taiwán (López, 2004), Chino (Meza, 2005), Perla (Vázquez, 2005) y Retinto (Utrilla, 2008). Este último autor determinó dos fracciones que mostraron un espectro similar al de los estándares comerciales de GAs, denominándolas Fr<sub>1</sub> y Fr<sub>2</sub> con un tiempo de retención de 24,6 min y 25,6 min, respectivamente. Para estas fracciones ha sido demostrada su actividad de giberelinas mediante un bioensayo con semillas de trigo (López, 2004; Vázquez, 2005).

### **Fisiología poscosecha del ajo**

El ajo, después de cosechado, posee una baja actividad metabólica que le da una mayor capacidad de conservación con respecto a otras hortalizas (Vásquez, 2005). La composición estructural de los bulbos y sus características fisiológicas, influyen marcadamente en la vida poscosecha (Vásquez *et al.*, 2006). Cantwell (2004) mencionó que este producto muestra tasas de respiración y de producción de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) muy bajas, de 5 mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5°C y menos de 0.1 µl de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 20 °C; además una baja tasa de deshidratación debido a la presencia de sus hojas protectoras secas (túnicas) y a la baja relación superficie/volumen, lo cual le da una mayor duración en almacén.

De acuerdo con Cantwell (2004), las condiciones ambientales más importantes para mantener la calidad del ajo son la temperatura, humedad relativa y circulación del aire, indicando que con temperaturas de almacenamiento entre 5° y 18°C los bulbos brotan más rápidamente que los almacenados a 0° ó 30°C , aún por tiempos cortos de exposición.

El ajo puede almacenarse en buenas condiciones por uno a dos meses a temperatura ambiente (entre 20 y 30 °C) bajo humedad relativa menor a 75% (Vásquez *et al.*, 2006). Sin embargo, bajo estas condiciones, los bulbos pueden eventualmente tornarse suaves, esponjosos y arrugados, debido a la pérdida de agua (Vásquez, 2005). Al respecto, López (2004) almacenó ajos blancos cv. 'Perla' y encontró que aquellos almacenados a 5° y a 20°C durante 120 días estaban brotados (Índice de brotación, IB=1), comparados con los almacenados a 0° y 30°C, los cuales presentaron menos de 0,4 de IB.

Generalmente, el desarrollo del cultivo no es homogéneo durante el ciclo de producción y esto trae como consecuencia problemas de calidad durante su almacenamiento (Calderón *et al.*, 2003). Esto significa que aún cuando la siembra se realice en un mismo día, al momento de cosecha los bulbos tienen un desarrollo intrínseco diferenciado, generando variaciones en las características físicas y bioquímicas durante el almacenaje, por lo que es fundamental cosechar en pleno estado de madurez (Mujica y Pérez, 2006).

### **Calidad poscosecha en ajo**

El escaso desarrollo tecnológico del cultivo de ajo en Venezuela, ha contribuido a la pérdida de competitividad de los productores por incrementos en los costos de producción y la disminución en la cantidad y calidad del producto (Añez y Espinoza, 2003).

La calidad depende de las características del bulbo, tales como el contenido de materia seca y de carbohidratos. Una alta cantidad de materia seca se considera muy importante para la capacidad de almacenaje de los bulbos y se ha indicado que la proporción de fructosanos u otros polisacáridos pueden correlacionar esta capacidad (Hendriksen y Hansen, 2001; Benkeblia *et al.*, 2005).

La conservación de los bulbos de *Allium* depende de muchos factores como temperatura, humedad relativa, cultivar, prácticas hortícolas, tiempo de cosecha, remoción de follaje seco, clasificación de bulbos, manipulación y condiciones y régimen de almacenamiento (Currah y Proctor, 1990; Mogren *et al.*, 2009).

Las diferencias en la naturaleza de las hojas protectoras entre la cebolla y el ajo, explican porque este último puede ser almacenado más tiempo en condiciones ambientales, ya que sus catáfilas tienen una densa cantidad de elementos traqueales y cristales que las hacen muy rígidas y menos permeables (Shiomi *et al.*, 2008). Pero, también determinan la corta vida poscosecha de aquellos ajos en los cuales algunas de sus hojas protectoras son removidas durante la manipulación; la mayor pérdida de masa fresca se debe a la deshidratación que ocurre como consecuencia de la transpiración, y esta se considera una causa importante del deterioro de *Allium* en almacenamiento (Benkeblia *et al.*, 2005).

El momento de cosecha también es importante porque permite maximizar el rendimiento de los compuestos presentes en los dientes. Brewster (2001) afirmó que los bulbos deben dejarse en el campo hasta que sus hojas protectoras estén completamente suberificadas. Igualmente, debe evitarse el retraso en la cosecha ya que puede producir una reducción en la calidad de esas hojas provocando la volatilización de algunas sustancias.

Cuando se almacenan bulbos por varias semanas, se busca mantenerlos en condiciones sanas, sin mayores pérdidas en sus características físicas y químicas, pero además con buenos rasgos organolépticos que le permitan ser transportados y comercializados sin mayores inconvenientes (Mujica y Pérez, 2006).

En condiciones de almacenaje, uno de los procesos fisiológicos más importantes es el aumento de la respiración, la cual provoca una continua pérdida de materia seca acompañado de liberación de calor (Brewster, 2001), como consecuencia se produce una disminución en materia seca y una reducción de la acidez total titulable (Diez *et al.*, 2010). Por esta razón, los niveles de piruvato son una medida de la pungencia de los bulbos y representan un factor importante para el almacenaje en ajos (Gordon y Barrett, 2003).

Por otra parte, el oscurecimiento es un problema que ocurre durante el procesamiento y el almacenaje de ajo. Éste junto con el sabor y la firmeza son los atributos más utilizados para juzgar la calidad del producto (Pezzutti y Capriste,

1997; Randle y Lancaster, 2002). El cambio de color también afecta la apariencia y además está asociado a otros fenómenos de deterioración, como el poco desarrollo de sabor y la pérdida de calidad nutricional (Ramírez, 2000).

El oscurecimiento puede ser enzimático y no enzimático. El primero se debe a enzimas que catalizan la hidroxilación y oxidación de compuestos fenólicos, mientras que el segundo se produce por una reacción entre la reducción de azúcares y la liberación de grupos amino o proteínas formando pigmentos poliméricos marrones (Randle y Kopsell, 2002).

Otro problema de calidad en el almacenamiento de bulbos, en general y del ajo en particular, es el rompimiento de su estado de letargo (Brewster, 2001). Antes de que los bulbos sean cosechados, entran en un estado de preletargo y una vez efectuada la cosecha, se dice que están en letargo pleno. En este estado no se registra crecimiento y continúan así hasta alcanzar un estado de desarrollo en el cual se inicia la brotación (Vásquez *et al.*, 2006). La transición entre estas etapas está influenciada por factores propios de la variedad, así como de las condiciones ambientales a los cuales estén o estuvieron sometidos los bulbos (Portela, 1996).

### **Factores que influyen en la intensidad del sabor**

Los cultivares de ajo difieren en su pungencia por las diferentes concentraciones de precursores que acumulan. El genotipo controla la absorción y la asimilación del azufre para la conformación del sabor (Randle, 2000; Huchette *et al.*, 2007). La regulación genética implica muchos pasos y transformaciones de este elemento mineral antes de formar el precursor característico (Reseman *et al.*, 2001), y cada uno de esos eventos está controlado por una enzima, la cual es producto de la acción del genoma de la planta (Keusgen *et al.*, 2002).

Las condiciones de cultivo pueden influir en la intensidad del sabor de un cultivar dado. Según Randle (2005), un cultivar con un potencial de pungencia moderado puede aumentar este patrón si crece en un ambiente que le permita una

máxima producción de precursores del aroma, por el contrario, un cultivar pungente puede disminuir ese valor si el medio no lo favorece.

Las condiciones ambientales que más afectan esta variable son la temperatura, la disponibilidad de azufre y de agua (Reseman *et al.*, 2001; Huchette *et al.*, 2007). Se ha demostrado que altas temperaturas, poca humedad y alta absorción de azufre contribuyen a una mayor pungencia en *Allium* (Randle y Lancaster, 2002; Kopsell y Lefsrud, 2009).

### ***Compuestos orgánicos***

En el ajo, los compuestos orgánicos de reserva son principalmente carbohidratos que constituyen el 30% de la masa fresca del bulbo, correspondiendo la mayor proporción a polímeros de fructosa (Huchette *et al.*, 2007). Estos carbohidratos son del tipo no estructural y se movilizan dentro de la planta, variando su contenido en los distintos órganos durante la evolución fenológica del cultivo (Huchette *et al.*, 2005). Según Brewster (2001), esas diferencias están asociadas con el coeficiente de partición (materia seca del bulbo/materia seca del follaje), si este valor se correlaciona con el índice de bulbificación que tiene un valor de 0,5 (Man, 1952), podría considerarse como un parámetro que indica la formación del bulbo (Ledesma *et al.*, 1997).

La eficiencia en el transporte de los carbohidratos puede medirse por coeficiente de partición (Daie, 1985) que tiene un valor menor a 1, y se ha establecido en 0,8 para cebolla y 0,5 en ajo (Argüello *et al.*, 1997). De acuerdo con Nuñez *et al.* (1997), el ajo está en condiciones de ser cosechado cuando el bulbo ha alcanzado la madurez, caracterizada por: mínima materia seca del follaje, mínimo índice de bulbificación, máxima materia seca del bulbo, máximo contenido de sólidos solubles totales, máxima cantidad de proteínas solubles totales y mínima actividad de la enzima peroxidasa.

Mujica y Pérez (2006) determinaron que la madurez de los bulbos de ajo fue apropiada entre los 90 y 120 días después de la siembra, en el cual se produjo la menor pérdida de materia seca y los mayores niveles de sólidos solubles. De igual

forma, Oliveira *et al.* (2003) concluyeron que el momento de cosecha influyó significativamente en la producción y en las características físicas y químicas del ajo, aumentando la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos cuando ésta se realizó a los 156 días en comparación con 134, 141 y 148 días después de la siembra, respectivamente.

### ***Compuestos organosulfurados***

Las investigaciones sobre la biosíntesis de los constituyentes del olor y sabor en *Allium*, se iniciaron con el descubrimiento de Stoll y Seebeck (1947) quienes determinaron la presencia de alliin en el tejido de ajo como una fuente estable del diallyl thiosulfinato (allicin). Lancaster *et al.* (2000) propusieron una vía de síntesis que requiere al  $\gamma$ -glutamyl péptido como intermediario y que conduce a la producción de los compuestos del aroma.

Una característica significativa de las especies de *Allium* es la presencia de compuestos organo-sulfurados, cuya composición y cantidad está fuertemente afectada por factores genéticos y ambientales (Randle, 1997; Kamenetsky *et al.*, 2005). Los mayores generadores de estas sustancias son aminoácidos no volátiles estables, incluyendo S-allyl(en)yl cistein sulfoxido y dipéptidos relacionados (Kasuga *et al.*, 2001; Rybak *et al.*, 2004). Las diferencias en la intensidad del sabor entre las especies de este género se debe a la presencia de varios precursores y a la proporción en la cual ellos son acumulados, entre los cuales destaca el allicin (Randle y Lancaster, 2002).

El ajo es rico en allin (S-allyl-L-cistein sulfoxido) que alcanza concentraciones de 1,4% en bulbos frescos (Keusgen, 2002; Bloem *et al.*, 2004). Cuando el tejido es destruido, esta sustancia es hidrolizada por la enzima allinasa para liberar complejos organo-sulfurados asociados con el aroma característico y su notable bioactividad (Kamenetsky, *et al.*, 2005). Además, el sabor está determinado por la descomposición enzimática del allin para formar allicin (Rybak *et al.*, 2004).

## ***Allicin***

El allicin es un compuesto sulfuroso natural que representa alrededor del 70% de los thiosulfatos producidos cuando allin, isoallin y methin interactúan con la enzima allinasa, luego de que los bulbos maduros son estrujados o dañados (Arnault *et al.*, 2003; Shadkchan *et al.*, 2004). El ajo fresco contiene entre 1,15 y 1,4 % de allicin (Bloem *et al.*, 2004), aunque la cantidad puede variar dependiendo de cómo se prepare el producto o del porcentaje de compuestos activos presentes en los bulbos frescos (Hong y Kim, 2001; Keusgen *et al.*, 2002).

Allicin es el mayor ingrediente activo del ajo, este proporciona las características de olor y muchas propiedades saludables tales como antimicrobial, anti-inflamatorio, anti-trombótico, anti-arterosclerótico y actividades anticancerígenas (Kasuga *et al.*, 2001; Shadkman *et al.*, 2004). El ajo fresco o procesado contiene cantidades estandarizadas de allicin, el cual se ha demostrado, tiene importantes beneficios cardioprotectores al bajar el colesterol de la sangre, reduciendo la presión arterial y disminuyendo la agregación sanguínea, además ayuda a prevenir la arterosclerosis (Miron *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista bioquímico, se considera que el olor característico del ajo proviene de la mezcla de varios sulfuros volátiles. Al respecto, Arnault *et al.* (2003) encontraron mono, di, tri y tetrasulfidos, además de 2,5-dimetil-1,4-dithianes, 2-metil-1,4-dithiepane y dimetil-1,2,5-trithiepanes por degradación térmica de muestras de ajo, concluyendo que el aroma típico puede formarse no enzimáticamente durante el tratamiento térmico de alliin o deoxyalliin, quién es su precursor bioquímico.

Por otra parte, el contenido de allicin en los bulbos de ajo puede estar afectado por factores ambientales y genéticos, lo cual influye en su calidad. Kubec *et al.* (2000) confirmaron que la calidad de luz y la temperatura afectaron el contenido de allicin en los bulbos *in vitro* y la fertilización sulfurosa interactuó con el genotipo en el invernadero, logrando valores variables de este compuesto. Los autores sugieren que estos factores sean considerados para mejorar el sabor y el valor terapéutico del ajo.

## ***Determinación de allicin mediante cromatografía líquida de alta eficacia o High Performance Liquid Chromatography (HPLC)***

Los métodos de cromatografía permiten la determinación individual de cada compuesto químico, siendo mas sensibles y selectivos que la espectrofotometría ultravioleta-visible (Silva, 2003).

En las últimas décadas, el método HPLC ha sido empleado para la determinación de compuestos poliamínicos, sulfurosos y fenólicos en *Allium*. En este sentido, Kubec *et al.* (2007) propusieron un modelo de cromatografía líquida usando una columna en fase reversa para cuantificar la distribución del cysteine sulfoxide en algunas especies de *Allium*, logrando identificar un nuevo precursor del sabor llamado ethylcysteine sulfoxide (ethiin).

De igual manera, Mochizuki *et al* (1998) utilizaron HPLC para determinar allicin en ajo, empleando detección ultravioleta a 210 nm y una columna de separación Zorbax TMS y elusion isocrática con agua como fase móvil, alcanzando más del 90% de efectividad. Por su parte, Arnault *et al.* (2003) establecieron un método analítico para separar y cuantificar el contenido de allicin y su precursor allin, logrando la separación de allicin después de 18 minutos en una columna C-18 de 150 mm de longitud y 3 mm de diámetro.

Asimismo, Rybak *et al.* (2004), utilizaron HPLC en combinación con extracción supercrítica de fluido para la determinación cuantitativa de allicin, permitiendo la recuperación del 99% del compuesto con una precisión del 2%. Por su parte, Sarah (2005) encontró allicin en extractos metanólicos de bulbos de ajo utilizando HPLC con una fase móvil de metanol y 5% de ácido acético, un flujo de 1 mL<sup>-1</sup> por minuto y detector UV a 280 nanómetros de longitud de onda.

### ***Compuestos fenólicos***

Los fenoles son compuestos aromáticos que contienen grupos hidroxilo ligados directamente al anillo aromático y se clasifican en monohidroxílico, dihidroxílicos, trihidroxílicos, según el número de grupos hidroxilos presentes (González *et al.*, 1999).

Generalmente son incoloros, pero su oxidación ocurre con gran rapidez y depende de la exposición a la luz y al aire, así como de la presencia o ausencia de impurezas metálicas (Muñoz *et al.*, 2001). Este es un proceso complejo, en el que influye su propia estructura dando lugar a derivados de difenilo o a quinonas, que son las responsables de la coloración de los productos (Vílchez *et al.*, 2001).

La presencia de estos compuestos en los alimentos hace que las cantidades máximas permitidas estén reguladas por las leyes de cada país. La Comunidad Europea establece como concentración admisible de fenoles en frutas y hortalizas  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  de masa fresca del producto (Sara *et al.*, 2005). Dentro de estos compuestos, los más comunes son los flavonoides, a los cuales se les asignan propiedades importantes para la calidad de un producto hortícola.

### ***Flavonoides***

Los flavonoides son compuestos que han sido propuestos con efectos beneficiosos para la salud, los cuales pueden ser mediados por su actividad antioxidante en los alimentos (Slimenstad *et al.*, 2008). Una de las mayores fuentes de flavonoides en la dieta de la sociedad europea esta en el género *Allium* (Diez *et al.*, 2010). El ajo contiene altas concentraciones de flavonoides, especialmente el flavonol quercetin asociado a diferentes moléculas de azúcar (Miean y Mohamed, 2001). Se ha demostrado que la absorción del glucósido quercetin en *Allium* es mejor antioxidante que la aglycona libre (Hollman y Katan, 1999).

Horbowicz y Kotlinska (2004) determinaron niveles entre  $147$  y  $828 \text{ mg.kg}^{-1}$  de masa fresca de quercetin y trazas de  $173 \text{ mg.kg}^{-1}$  de masa fresca de kaempferol en bulbos de *Allium* (*A. ampeloprasum*, *A. caesium* y *A. ledebourianum*).

Kim *et al.* (2003) aislaron 4 compuestos flavonoides a partir de hojas y brotes de ajo, los mismos fueron identificados como isoquercetin, quercetin, kaempferol e isorhamnetin, estos presentaron una alta actividad antioxidante hacia lipoxigenasa y hyaluronidasa de soya, sugiriendo que esas estructuras del ajo pudieran ser utilizadas como alimento o ingredientes funcionales.

Miean y Mohamed (2001) encontraron  $1497 \text{ mg.kg}^{-1}$  de quercetin,  $391 \text{ mg.kg}^{-1}$  de luteolin y  $832 \text{ mg.kg}^{-1}$  de kaempferol en hojas de cebolla y

217 mg.kg<sup>-1</sup> de apigenin en ajo. De igual manera, Kim *et al.* (2004) evaluaron el contenido total de flavonoides y su capacidad antioxidante en repollo, estos autores determinaron valores de 2,61 mg de quercetin y 7,03 mg de kaempferol/100 g de masa fresca, mientras que apigenin, luteolin y myrcetin no fueron detectados.

### ***Determinación de fenoles mediante HPLC***

La metodología de HPLC se utiliza con gran frecuencia para la determinación de mezclas complejas de fenoles, pero dado que las concentraciones de algunas muestras son bajas es necesario llevar a cabo una etapa de extracción, ya sea en fase sólida (Vílchez *et al.*, 2001), extracción líquido-líquido (Muñoz *et al.*, 2001) o destilación (Garbalo *et al.*, 2002).

De acuerdo con Zafra *et al.* (2002), entre las fases móviles en isocrático o gradiente, las más usadas son las que llevan metanol y/o acetonitrilo, siendo a veces necesario añadir acetato de amonio o ácido acético dado el carácter ácido de los fenoles, ya que las disoluciones reguladores disminuyen el ensanchamiento de las bandas (Mattila *et al.*, 2000).

Con relación a los detectores, el más utilizado es el ultravioleta (UV) visible por su respuesta selectiva a 254 nm y 280 nm, pero hay trabajos en que se determina el pentaclorofenol a 302 nm y a 310 nm (Mattila *et al.*, 2000; Cho *et al.*, 2005).

Según Ballesteros *et al.* (2002), la cromatografía líquida permite la determinación de fenoles a bajas concentraciones, siendo posible disminuir los límites de detección a niveles de µg.L<sup>-1</sup> e incluso a niveles de ng.L<sup>-1</sup>. Asimismo, Horbowicz y Kotlinska (2004) encontraron flavonoles en especies de ajo silvestres mediante hidrólisis ácida de sus glicósidos, extraídos en 60% de etanol y analizados con HPLC en fase inversa con una columna de RP-18 y un detector UV a 370 nm.

## Nutrición mineral en el cultivo de ajo

La demanda de nutrientes en ajo durante el ciclo del cultivo se ha estudiado poco hasta ahora. No están establecidas las relaciones entre los contenidos de nutrientes de la parte aérea con la morfogénesis y el crecimiento del bulbo, a fin de determinar el momento de traslocación de los elementos nutricionales hacia el mismo (Argüello *et al.*, 1997).

De acuerdo con Taiz y Zeiger (2006), la demanda de nutrientes en la planta está en función del crecimiento, por lo tanto los requerimientos son distintos dentro de la misma según el órgano considerado y durante la ontogenia. Así, la relación carbono/nitrógeno, la cual es un índice de crecimiento, asume valores bajos cuando la planta es joven y aumenta con la ontogenia (Stahlschmidt *et al.*, 1997).

En la planta de ajo los nutrientes se almacenan en el diente, los cuales junto con los carbohidratos permiten el crecimiento de las raíces y de las hojas preformadas durante la etapa de brotación (Ledesma *et al.*, 1997). Una vez emergidas las raíces, los nutrientes son aportados por éstas a partir de la solución del suelo, trasladándose rápidamente hacia las hojas en activo crecimiento, permitiendo la expansión de las misma (Stahlschmidt *et al.*, 1997).

Los minerales requeridos en mayor cantidad para el crecimiento en *Allium* son nitrógeno y potasio (Gaviola y Lipinsky, 2004). En este sentido, Tabaquirá y Castro (2003) lograron un mayor diámetro y peso de los seudotallos de cebollin (*Allium fistulosum* L.) con la aplicación de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O complementada con gallinasa.

Evidencias experimentales han demostrado que estos elementos se encuentran en mayor cantidad tanto en la parte aérea como en los bulbos y sus contenidos presentan las mismas tendencias de incrementos en sus respectivas materias secas (Ledesma *et al.*, 1997). Al respecto, Argüello *et al.* (1997), determinaron que durante la etapa de crecimiento aéreo del ajo blanco, el K se incrementaba significativamente a partir de los 60 días después de la siembra (dds), contrario a lo reportado por

Gaviola y Lipinski (2002) para ajo rosado donde el incremento se produjo a partir de los 90 dds.

Según Nuñez *et al.* (1997), durante la etapa morfogénica del ajo la división y elongación celular es alta, siendo un fuerte polo de atracción de nutrientes, lo que provoca un desbalance de los mismos entre la parte aérea y el bulbo, generando una disminución de K en la primera y un incremento de éste en el último. Se ha establecido que los niveles de K se incrementan en dos momentos de la etapa inductiva del bulbo. El primero al comienzo del llenado debido a la actividad meristemática, y el segundo después de los 140 dds como consecuencia del traslado de los nutrientes desde la masa aérea hasta las hojas de reserva producto de la senescencia foliar (Argüello *et al.*, 1997), la cual es de manera parcial ya que en ajo se habla de crecimiento indefinido (Ledesma *et al.*, 1997).

Hosseinpur y Safari (2007) determinaron que más del 60% del K total liberado ocurrió durante las primeras 168 horas luego de la aplicación, la cantidad liberada después de ese tiempo varió entre 9 tipos de suelos y promedió de 292,8 a 736,8 mg kg<sup>-1</sup> de suelo. En otro estudio, la adición de 200 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> incrementó la producción, la concentración y absorción de K por las plantas de ajo (Hosseinpur y Safari, 2005).

Sobre la base de estas evidencias, se considera que el período crítico para la fertilización en ajo es el comprendido entre el inicio del crecimiento aéreo y el comienzo del llenado del bulbo, ya que una vez producida la bulbificación, los nutrientes no serán aprovechados por la planta (Singh y Berma, 2001).

### **El potasio (K) en la producción de los cultivos**

El crecimiento de las plantas requiere la incorporación de elementos minerales, ya que entre el 15 y 20% de la composición de los tejidos no leñosos está representada por esos elementos y el resto es agua (Taiz y Zeiger, 2006). Todos los

elementos en su forma soluble, ya sea libre o unido de manera estructural a compuestos esenciales, contribuyen a los potenciales osmóticos y por consiguiente a desarrollar la presión de turgencia necesaria para mantener la forma y la velocidad de crecimiento de la planta (Mengel y Kirkby, 2001).

En la mayoría de los cultivos, los niveles de nutrientes en ciertos estados del crecimiento influyen en el rendimiento de los tejidos económicamente importantes como tubérculos, bulbos, granos, entre otros, incrementándose linealmente con la cantidad de nutrientes que la planta absorbe (Singh y Singh, 2004). En *Allium*, la interacción entre la humedad y la fertilidad del suelo con las condiciones ambientales, por ejemplo temperatura, afectan de manera significativa la respuesta de crecimiento de las plantas, en consecuencia, estos cultivos son absolutamente sensitivos a deficiencias de un gran número de nutrientes, entre ellos potasio (Bender, 1993).

Algunos cultivos presentan síntomas característicos de deficiencias cuando las cantidades de K no están disponibles para el crecimiento y el desarrollo (Marschner, 2002). El K es móvil en la planta desde las hojas bajas hacia las superiores (Taiz y Zeiger, 2006).

En ajo, los síntomas de deficiencias de K se inician con un color verde oscuro en las hojas maduras debido a la acumulación de carbohidratos no estructurales producto de una reducción en la síntesis de proteínas, luego el ápice comienza a marchitarse, especialmente en el lado superior, en casos severos las hojas se inclinan y las áreas marchitas progresan alcanzando una apariencia que va desde satinado a un aspecto similar a papel crepé (Grewal y Williams, 2002). Cuando hay deficiencias, la planta pierde la capacidad de resistir condiciones de estreses bióticos y abióticos (Yamada *et al.*, 2002).

Uno de los factores que causa deficiencia de K en suelos arenosos es la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), sobre todo en campos regados con agua alta en sodio (Bybordi y Malakouti, 2003). La CIC es una medida simple del potencial del suelo para ceder cationes, esto refleja la cantidad de cargas negativas

presentes en el suelo y depende de la mezcla de materia orgánica, del tipo de arcilla mineral, así como del pH (Marschner *et al.*, 1996).

### **Función del potasio en las plantas**

El potasio (K) es el tercer macronutriente requerido por las plantas después del nitrógeno (N) y del fósforo (P), pero a diferencia de estos dos elementos, el K no es un componente de la estructura celular (Errebhi y Moshileh, 2004; Hosseinpur y Safari, 2007). En cambio, existe en forma iónica móvil y actúa primeramente como un catalizador, por lo tanto tiene un importante rol osmótico en las plantas cultivadas en ambientes áridos (Blanke *et al.*, 2004). Además juega un papel mayor en la activación enzimática, las relaciones energéticas, traslocación de asimilados y síntesis de proteínas y almidón (Grewal y Williams, 2002; Hosseinpur y Safari, 2005).

El K está asociado con el movimiento de agua, nutrientes y carbohidratos en el tejido vegetal (Marschner, 2002). De acuerdo con Wang *et al.*, (1996) cuando este elemento está deficiente o no es suplido en cantidades adecuadas, el crecimiento de la planta es deficiente y la producción se reduce. Rehm y Schmitt (2002) han enfocado las funciones del K en los cultivos hacia el estímulo del crecimiento, incremento en la producción de proteínas, mejor eficiencia en el uso del agua y mayor resistencia a enfermedades y plagas.

Este elemento ayuda a la planta a resistir temperaturas de frío o calor extremo, sequía y plagas. Otro rol importante es el transporte de agua manteniendo la presión de turgencia y regulando la apertura y cierre estomático (Blanke *et al.*, 2004), el cual es fundamental para el enfriamiento foliar y la entrada de CO<sub>2</sub> necesario para la fotosíntesis (Blanke, 2009).

La concentración adecuada de K en el citoplasma es fundamental para mantener metabolismo de nitrógeno (N) en las plantas (Dickerson, 2005). El K es a menudo el ión dominante para el transporte del nitrato a larga distancia en el xilema, así como para su almacenaje en las vacuolas (Marschner, *et al.*, 1996). También

ayuda en la utilización del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y reduce sus efectos tóxicos tales como lesiones del vástago en tomate y lesiones de la hoja en maíz (Xu *et al.*, 2002).

Las propiedades físicas del K y del  $\text{NH}_4^+$  en términos de carga y diámetros hidratados, así como sus efectos sobre los potenciales eléctricos de las membranas celulares y las protuberancias de  $\text{H}^+$ , son algo similares. Sin embargo, los resultados sobre la interacción entre ambos son contradictorios. Se han demostrado efectos inhibitorios del  $\text{NH}_4^+$  externo sobre la asimilación de K en las plantas. Wang *et al.* (1996), sugirieron que el K y el  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  pueden compartir un sistema común de transporte y que el  $\text{NH}_4^+$  sujeto al transportador de K causó cambios estructurales responsables de las variaciones en la asimilación del K por la planta.

Algunos reportes han sugerido que no hay competencia entre la absorción del  $\text{NH}_4^+$  y el K. En este sentido, se ha reportado que el K incrementa la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  en pimentón y que no compite con su absorción. La mayor asimilación de  $\text{NH}_4^+$  y K con la aplicación de altas tasas de K indican un efecto complementario entre estos dos elementos (Xu *et al.*, 2002).

La relación entre la concentración de N (CN) y la concentración de K (CK) en hojas individuales de varios cultivos, puede resumirse de la siguiente manera: En cereales (arroz y maíz) y leguminosas (soya), la CK disminuye si la CN decrece, mientras que en cultivos de raíz (papa y remolacha) la CK se mantiene constante si la CN disminuye (Yamada *et al.*, 2002).

Por otra parte, el K también cumple una función importante para mejorar la calidad de los cultivos, razón por la cual se ha llamado el “elemento de la calidad” en la producción agrícola. Lachover (2004) encontró que la aplicación de K mejoró la calidad del tomate var. Roma, la cual se expresó en un incremento en la materia seca y una reducción en el contenido de azúcar, aunque no produjo cambios significativos en la cantidad de vitamina C.

La importancia crucial del K en la calidad de órganos de almacenaje radica en la promoción de la síntesis de fotosintatos y su transporte hacia estos tejidos para aumentar su conversión en almidón, proteínas y vitaminas (Mengel, 1997; Singh y Berma, 2001). Con bajos niveles de potasio muchos procesos metabólicos son afectados, como la tasa de fotosíntesis, la tasa de translocación y el sistema

enzimático, de igual manera, la tasa de respiración oscura se incrementa (Marschner, *et al.*, 1996; Singh *et al.*, 2001). La influencia del K sobre la calidad también puede ser de manera indirecta como resultado de su interacción positiva con otros nutrientes, especialmente nitrógeno (Singh y Singh, 1999).

En algunos cultivos se ha establecido que la fijación de N está acoplada con la disponibilidad del K. Chartzoulakis *et al.*, (2006) reportaron que la suplencia de K redujo la concentración de Na<sup>+</sup> e incrementó el contenido de K en las hojas de olivo, alcanzando un potencial de turgencia positivo debido al rápido decrecimiento del potencial osmótico, pero se redujo el contenido de almidón, al disminuir la tasa de fotosíntesis.

La planta requiere potasio para la producción de moléculas de alta energía (ATP). El K mantiene el balance de cargas eléctricas en los cloroplastos, lo cual es necesario para la formación de ATP. Por lo tanto, el K mejora la transferencia de la energía solar hacia energía química primaria en la forma de ATP (fotofosforilación) y NADPH (Shabala *et al.*, 2000). Esta energía se utiliza para todos los procesos de síntesis en el metabolismo de la planta, resultando en la producción de carbohidratos, proteínas y lípidos, que se expresan en la calidad del cultivo (Mengel y Kirkby, 2001). Además, el nivel alto de energía en la planta bien suplida de K también provoca la síntesis de metabolitos secundarios, como vitamina C (Mengel, 1997).

### **El potasio en el suelo**

El contenido total de potasio en el suelo, generalmente excede los 20000 g.kg<sup>-1</sup>, casi todo está en el componente mineral del suelo y no es aprovechable para el crecimiento de las plantas (Grewal y Williams, 2002). Según Umar y Moinuddin (2002), el potasio se encuentra en tres formas en el suelo, atrapado entre las capas de arcilla (relativamente no disponible), entre un 90 a 98% del total, absorbido en la superficie de los coloides del suelo (intercambiable), entre 1 a 10% y en la solución del suelo (disponible), entre 1 a 2%.

El K disuelto en la solución del suelo y que además ayuda al intercambio con las partículas de arcilla es el que realmente se considera disponible para el

crecimiento de la planta (Yamada *et al.*, 2002). La suplencia de K para la máxima producción de los cultivos depende del tipo de arcilla mineral en el material parental del suelo (algunos minerales tienen más K que otros) y su resistencia a las acciones del tiempo (Mengel y Kirkby, 2001).

A medida que la concentración de K aumenta en la solución del suelo, se libera más K desde las arcillas minerales. El K adjunto a los sitios de intercambio de las arcillas es más rápidamente disponible para la planta que el K atrapado entre las capas de estos minerales del suelo (Umar y Moinuddin, 2002). Entonces, el movimiento de K en el suelo depende de la textura, cuando el contenido de arcilla se incrementa el movimiento de éste disminuye, mientras que en los suelos arenosos el K es bastante móvil y puede actuar fuera de la zona radicular, como consecuencia, los suelos arenosos tienden a presentar una baja disponibilidad del mismo (Ball, 1995).

Las condiciones del suelo y del ambiente tienen un efecto sobre la cantidad de K disponible para la planta. Según Errebhi y Moshileh (2004), la disponibilidad de este elemento es mayor en suelos bien aireados, con pH neutro o ligeramente ácido y un ambiente cálido y húmedo. El exceso de agua en el perfil del suelo puede bajar los niveles de oxígeno, reduciendo la respiración de la planta y en consecuencia reduce la absorción de K (Al-Karaki, 2000). En suelos arcillosos, la disponibilidad de K puede ser afectada debido a su competencia con el calcio y el magnesio por los sitios de intercambio catiónico, estos dos elementos pueden desplazarlo de esos sitios (Xu *et al.*, 2002).

Existen algunos criterios para considerar los niveles de K en el suelo (Cuadro 1). En este sentido, se puede esperar un incremento en la producción si el fertilizante potásico es agregado cuando los valores de K están en el rango bajo o muy bajo. Además, se puede o no observar este incremento si la fertilización potásica es suplida cuando existen valores de rango medio, en este caso el uso de fertilizante potásico al inicio del cultivo podría producir mejores resultados. Al contrario, no se puede esperar una respuesta a K cuando los valores están en el rango alto o muy alto (Ball, 1995).

Cuadro 1. Niveles relativos para cantidades de potasio en el suelo

Cantidad de K en el suelo (g.kg <sup>-1</sup> )	Nivel relativo
0 – 40	Muy bajo
41 – 80	Bajo
81 – 120	Medio
121 – 160	Alto
161 +	Muy alto

Fuente: Ball (1995)

Por otro lado, los análisis de nutrientes en plantas son usados para diagnosticar deficiencias y proveen información para el ajuste de programas de fertilización, ya que tienen la ventaja de integrar los efectos del suelo y de los factores ambientales (Plank, 1992). Es importante fijar los umbrales de concentración de los minerales en el material vegetal, para cada especie y variedad, como método de ajuste de la fertilización (Sainz *et al.*, 2000).

El uso de los métodos convencionales de análisis de N en la materia seca (MS) de las plantas, tiene el inconveniente de los costos y tiempo de realización de los mismos. Se están utilizando con bastante éxito, procedimientos rápidos de determinación de nitratos en diferentes especies hortícolas para dar recomendaciones de fertilización (Errebhi *et al.*, 1998; Brink *et al.*, 2002; Gaviola y Lipinski, 2004).

### **La densidad de siembra en la producción de *Allium***

El problema de la variación de los rendimientos en un cultivo hortícola es relativamente complejo, ya que involucra el efecto de factores externos sobre los procesos fisiológicos de la planta y la interrelación entre éstos, los cuales están determinados por la constitución genética de la misma. El objetivo de la producción

en cualquier cultivo es lograr el mayor rendimiento por unidad de superficie y una mejor calidad en el producto al menor costo (Tabaquirá y Castro, 2003).

En *Allium* evidencias experimentales han determinado que la producción es altamente dependiente del cultivar, la fecha de siembra y la densidad de plantación. Las diferencias en los rendimientos pueden ser explicados por la eficiencia en la intercepción de luz, la cual es convertida en biomasa (Brewster, 2001). Esos incrementos en la producción están asociados al mayor índice de área foliar, ya que amplían los niveles de radiación fotosintéticamente activa interceptada y absorbida (Papadopoulos y Pararajasinghan, 1997).

Según Rahim y Fordham (1991), la tasa de producción de materia seca está correlacionada con la radiación interceptada, la cual está fuertemente afectada por el área foliar, además la intensidad de luz determina la producción de área foliar al influir sobre la división y elongación celular.

En cebollín (*Allium fistulosum* L.) la densidad óptima depende de la fecha de siembra, así como de la fecha y el tamaño estimado para la cosecha (Brewster, 2001). La mayor densidad puede producir una mayor proporción de pseudotallos de menor biomasa, pero con un número de plantas algo superior al óptimo esto puede ser compensado con una mayor altura de los mismos (Tabaquirá y Castro, 2003). Estos autores afirman que el cebollín desarrollado a altas densidades se elonga más y el grado de ramificación se incrementa, especialmente en las plantas ubicadas en el centro de las camas.

En cebolla, diversos estudios destacan la respuesta de la planta a la densidad, como por ejemplo, cambios en la fecha de maduración (Brewster, 2001), en el diámetro del bulbo (Viloria *et al.*, 2003) y en el rendimiento (Ariyama *et al.*, 2007; Russo 2008). Además, se ha demostrado que la producción de biomasa por metro cuadrado se incrementa con la densidad de plantas y que ésta se correlaciona con el porcentaje de intercepción de luz por el dosel foliar del cultivo (Brewster, 2001). Sin

embargo, aunque la producción aumenta, el tamaño individual del bulbo disminuye drásticamente reduciendo su calidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. El efecto de la densidad de planta sobre la producción y la intercepción de luz en cebolla cv Augusta.

	Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )		
	25	100	400
Producción de bulbo (kg m <sup>-2</sup> de masa seca)	0.46	0.71	1.02
Índice de área foliar	0.82	1.5	2.3
Porcentaje de luz interceptada por el dosel foliar	30.0	46.0	59.4
Fecha de madurez (Días después de siembra)	115	103	93

Fuente: Brewster (2001)

En ajo la baja densidad de plantación ha sido reconocida como una de las razones responsable de los bajos rendimientos (Abubakar, 2001; Brewster, 2001). En Venezuela, las distancias utilizadas para sembrar ajo son muy variables, la cantidad de “semilla” empleada por hectárea depende de las distancias y del peso de los dientes (Añez y Espinoza, 2003), por lo que se requiere estandarizar la densidad óptima para incrementar la producción por unidad de superficie y alcanzar mayores beneficios netos para los productores (INIA, 2008).

En este sentido, Lewis *et al.* (1995) observaron en distancias de 10 cm entre plantas un mayor número de hojas secas y plantas de menor desarrollo. Utilizando 7 cm lograron los mayores rendimientos con un promedio de 5 t ha<sup>-1</sup> y un mayor diámetro del bulbo (5 cm); mientras que con 5 cm la producción fue de 3 t ha<sup>-1</sup>, el diámetro de 4 cm y un gasto de 10% más de “semilla”.

Hossain *et al.* (2003) determinaron un mayor número de hojas/planta, materia seca de follaje y masa fresca/planta utilizando una distancia de 20 cm entre hileras y 20 cm entre plantas. De igual manera, Singh y Singh (2004) establecieron que la siembra temprana con baja densidad (10 x 10 cm) resultó en el más alto rendimiento, mientras que el mayor número de dientes, el diámetro y la masa fresca por bulbo se registró en el mayor espaciamiento (20 x 20 cm).

También Karaye y Yakubu (2006) encontraron que el número de hojas/planta se incrementó en la plantación de 10 cm entre plantas en comparación con 15 y 20 cm. El menor crecimiento de malezas (determinado por su materia seca) fue registrado a 15 y 20 cm entre plantas, indicando que el mayor índice de área foliar de las plantas podría conferir ventaja al cultivo reduciendo la infestación por malezas. La mayor producción se alcanzó con 10 cm entre plantas, mientras que la menor fue con 20 cm atribuido a la reducción del número de plantas por unidad de área.

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se desarrolló en dos etapas, la primera de campo se llevó a cabo en la zona productora de Sanare, Municipio Andrés Eloy Blanco del Estado Lara, donde se evaluó el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo y la segunda se realizó en el Laboratorio de Poscosecha de Productos Hortícolas del Posgrado de Agronomía de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”.

#### **Etapa de campo**

##### *Descripción de la zona del ensayo*

El establecimiento de los ensayos se llevó a cabo en la Finca San Isidro, situada en la localidad de Monte Carmelo, a una altitud de 1.700 msnm. El clima es fresco y húmedo con una temperatura promedio de 17 °C y precipitación anual de 1350 mm (MINAMB, 2009). Los suelos de la finca son comúnmente calcáreos, deficientes en materia orgánica y con pendientes de 10 a 15%. La presencia de 02 lagunas ha incrementado el área bajo riego y facilita el cultivo de hortalizas, especialmente ajo.

##### *Características del suelo*

Antes del establecimiento de la investigación se tomó una muestra compuesta del área de estudio y se realizó un análisis de las características físico-químicas, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y contenido mineral (NPK) del extracto de suelo (0 – 15 cm) de la parcela experimental al inicio del ensayo.

MUESTRA	Extracto de suelo saturado					
	pH (1:1 agua)	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	MO (%)	N (%)	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )
M-U	5,72	1,38	4,67	0,27	425	488

Clase Textural FA  
OBS. Presencia de Carbonato de Calcio

Fuente: Laboratorio general de suelos. Instituto de edafología. UCV.

### *Material vegetal*

La plantación se realizó con semilla asexual de ajo “Criollo” tipo morado proveniente de Carache, Estado Trujillo. Se seleccionó este material debido a que se utiliza mayormente por los productores de la zona.

### *Fertilización, riego y control fitosanitario*

Se aplicó el mismo plan de fertilización utilizado por los productores, basado en úrea a los 10 días después de la siembra (dds), fórmula completa (12-24-12) al inicio de la bulbificación (45 dds) y 12-12-17 en plena bulbificación (75 dds). Con respecto al riego se utilizó el método de aspersion, los primeros riegos fueron dados justo después de la siembra. Los siguientes fueron aplicados en un intervalo de 3 días dependiendo de las condiciones climáticas.

Para el control de malezas se aplicaron los siguientes herbicidas: Koltar® 2 EC (Oxifluorfen) (2 L.ha<sup>-1</sup>), Hache Uno 2000® (Fluazifop-p-butil) (1 L.ha<sup>-1</sup>) a los 15 y 45 dds. Para el caso de las plagas (Thrips) se utilizaron los siguientes insecticidas: Amidor® (Metamidofos) (1 L.ha<sup>-1</sup>) Invicto® 320 SC (Imidacloprid + Lambdacihalotrina) (500 cc.ha<sup>-1</sup>), Sunfire SC (Clorfenapir) (0,5 cc.L<sup>-1</sup> de agua, 600 L.ha<sup>-1</sup>), las aplicaciones se hicieron cada 15 días durante el ciclo del cultivo. Para el control de enfermedades se aplicaron los siguientes fungicidas: Tricobiol

(*Trichoderma harzianum*) (1 dosis.ha<sup>-1</sup>) inmersión de la “semilla” durante 15 minutos antes de la siembra, Manzate® 200 PM (Mancozeb) (2 kg.ha<sup>-1</sup>), a los 60 dds.

### *Diseño experimental*

Se utilizó un diseño de experimento en bloques al azar (5 bloques) con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela principal correspondió a la densidad y las subparcelas a las dosis de potasio. Se emplearon 3 densidades de siembra: D<sub>1</sub> = 100 plantas.m<sup>-2</sup> (5 cm entre plantas y 20 cm entre hileras), D<sub>2</sub> = 50 plantas.m<sup>-2</sup> (10 cm entre plantas y 20 cm entre hileras) y D<sub>3</sub>: 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> (15 cm entre plantas y 20 cm entre hileras).

En las sub-parcelas se aplicaron 3 dosis de potasio: K<sub>1</sub> = 25 kg.ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub> = 50 kg.ha<sup>-1</sup> y K<sub>3</sub> = 100 kg.ha<sup>-1</sup>, empleando como fuente el Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>). La suplencia y distribución de las dosis se hizo según el Cuadro 4.

Cuadro 4. Dosis de aplicaciones de KNO<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) durante las diferentes fases del cultivo.

Tratamiento	Fases del cultivo y Dosis (kg.ha <sup>-1</sup> )		
	Siembra (0 dds)	Inicio de crecimiento vegetativo (10 dds)	Inicio de la bulbificación (60 dds)
K <sub>1</sub> = 25	6,25	6,25	12,5
K <sub>2</sub> = 50	12,5	12,5	25
K <sub>3</sub> = 100	25	25	50

dds: días después de la siembra

La plantación se realizó en camas de 1,0 m de ancho x 6 m de largo y 0,20 m de alto (parcelas principales), con una separación de 50 cm entre parcelas. Las sub-parcelas fueron de 2 m de largo por 1 m de ancho, cada una contó con 5 hileras dejando 10 cm de bordura en cada lado, de las cuales se utilizaron las 3 hileras centrales para los muestreos. Para los análisis destructivos se tomaron las muestras desde los extremos hacia el centro de las hileras considerando las borduras, de tal

manera que se mantuvieron las plantas centrales en igualdad de competencia sin alterar las densidades propuestas, éstas se usaron para los análisis no destructivos.

### ***Evaluación del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo***

El crecimiento, desarrollo y producción del cultivo se determinó por medio del análisis de variables no destructivas y destructivas.

#### ***Variables no destructivas***

Al inicio del ensayo se marcaron 135 plantas (3 plantas/subparcela x 5 repeticiones x 9 tratamientos) en el área de muestreo no destructivo con la finalidad de evaluar cada 15 días las siguientes variables:

- 1. Número de hojas (NH):*** Se contó la cantidad de hojas de cada una de las 3 plantas marcadas en la subparcela, registrándose como número de hojas.planta<sup>-1</sup>.
- 2. Índice relativo de clorofila (IRC):*** Se midió directamente con un Spad 502, marca Minolta. Se tomaron lecturas en 3 hojas adultas de cada una de las 3 plantas marcadas en la subparcela, registrando el promedio.planta<sup>-1</sup> y expresado en Unidades Spad (US).
- 3. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA):*** Se midió en la hilera central de cada subparcela utilizando un Ceptómetro digital, marca AccuPAR, modelo LP-80, previamente calibrado. Las mediciones se hicieron entre las 12 y 1 pm en la base de las 3 plantas marcadas, en ambos lados de la hilera. Se registró el promedio por subparcela y fue expresado como  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .
- 4. Índice de Área foliar (IAF):*** utilizando un Ceptómetro digital marca AccuPAR, modelo LP-80, previamente calibrado, se midió directamente en la base de las 3 plantas marcadas, en ambos lados de la hilera central de cada subparcela, registrando el promedio de ella.

## ***Variables destructivas***

Del área de muestreo destructivo, se extrajeron 90 plantas (2 plantas/subparcela x 5 repeticiones x 9 tratamientos) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds) para evaluar las siguientes variables:

**1. Masa fresca del follaje y del bulbo (MFF y MFB):** Cada planta fue seccionada en follaje y bulbo, ambos fueron pesados separadamente en una balanza analítica marca Acculab, modelo VI-600 y se obtuvo el promedio para cada tratamiento, expresado en g.planta<sup>-1</sup>.

**2. Diámetro ecuatorial de los bulbos e Índice de bulbificación (DE e IB):** Los bulbos de la variable anterior fueron medidos con un vernier digital marca Mitutoyo, modelo 6411H14 en la periferia ecuatorial, registrando el promedio de los 2 bulbos y expresado en cm.bulbo<sup>-1</sup>. El IB se calculó mediante la relación entre el diámetro del cuello y el diámetro del bulbo (Mann, 1952).

**3. Materia seca del follaje y del bulbo (MSF y MSB):** Se utilizaron las mismas muestras de las variables MFF y MFB, llevados a estufa a 70 °C durante 72 horas hasta alcanzar masa constante (Zambrano *et al.*, 1997). Fue registrado el promedio como g.planta<sup>-1</sup> para follaje y bulbo, respectivamente.

**4. Tasa de asimilación neta (TAN):** Fue calculada a partir de la siguiente fórmula (Nuñez *et al.*, 1997) y expresada en mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>.

$$TAN = \frac{M2 - M1}{A2 - A1} \times \frac{\ln A2 - \ln A1}{T2 - T1}$$

Donde: M2 y A2 = materia seca y área foliar en el segundo muestreo  
M1 y A1 = materia seca y área foliar en el primer muestreo  
LnM2 = logaritmo natural del área del segundo muestreo  
LnM1 = logaritmo natural del área del primer muestreo  
T2 = días transcurridos desde la siembra al segundo muestreo  
T1 = días transcurridos desde siembra al primer muestro

**5. Coeficiente de partición (CP):** Se relacionó la MSB/MSF para cada fecha de muestreo (Ledesma *et al.*, 1997).

**6. Ritmo de crecimiento (RC):** Se determinó multiplicando la tasa de asimilación neta (TAN) por el IAF. El resultado se expresó como  $\text{mg.día}^{-1}.\text{planta}^{-1}$  (Argüello *et al.*, 1997).

### ***Separación y Cuantificación de giberelinas (GAs)***

#### ***Material vegetal***

Los brotes de ajo criollo morado cultivados durante la temporada Abril – Julio de 2009 fueron muestreados a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds).

#### ***Obtención del extracto***

Para la preparación del extracto se siguió el método descrito por Vázquez (2005). Un gramo de brote liofilizado y triturado se homogeneizó con  $40 \text{ mL}^{-1}$  de metanol al 80%, filtrado con papel Whatman N° 1. El filtrado se concentró al vacío en rotavapor a  $40 \text{ °C}$  hasta alcanzar un volumen final de  $8 \text{ mL}^{-1}$ , luego se realizó la partición de solventes con acetato de etilo ( $24 \text{ mL}^{-1}$ ) tomando el sobrenadante, éste se evaporó hasta sequedad y finalmente fue suspendido con  $2 \text{ mL}^{-1}$  de metanol al 100%.

#### ***Separación y Cuantificación***

La separación y cuantificación se llevó a cabo mediante HPLC utilizando un cromatógrafo Waters® modelo 510 equipado con una columna Symetry C<sub>18</sub> de  $3.5 \mu\text{m}$  de tamaño de partícula y de  $4.6 \times 100 \text{ mm}$  de diámetro y largo, respectivamente, así como un detector de arreglo de diodos, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nanómetros (nm).

Se utilizó un doble gradiente de concentración de acetonitrilo ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) con una fase B ( $\text{CH}_3\text{CN}$  con 5% de agua y 0.01% de ácido fosfórico) y una fase A (agua con 5%  $\text{CH}_3\text{CN}$  y 0.01% de ácido fosfórico) bajo un flujo de  $1 \text{ mL.min}$  (Vázquez, 2005). Se inyectaron  $10 \mu\text{L}^{-1}$  del extracto metanólico en el equipo HPLC a  $25 \text{ °C}$ . Los tiempos de retención y el espectro de absorción obtenidos para cada muestra fueron comparados con el estándar comercial GA<sub>3</sub> de Sigma®. La cuantificación se realizó

por el método de la curva estándar utilizando el ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) como compuesto referencia a diferentes concentraciones (0; 0.5; 1.0 y 1.5 mg.mL<sup>-1</sup>) y los resultados fueron expresados como mg.g<sup>-1</sup> de masa fresca.

### ***Evaluación del estado nutricional y extracción de NPK por el cultivo***

Se realizaron 3 análisis puntuales, en crecimiento vegetativo (30 dds), inicio de bulbificación (60 dds) y bulbificación plena (90 dds). Se seleccionaron las hojas jóvenes maduras de 2 plantas de cada tratamiento (Huett *et al.*, 1997).

De igual manera, se realizaron dos análisis de suelo (Brewster, 2001), uno antes de la siembra con una muestra disturbada de toda el área del ensayo, y otro al momento de la cosecha tomando una muestra compuesta para cada tratamiento (9 muestras). Los análisis se hicieron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, UCV. La extracción de NPK por el cultivo se calculó multiplicando la concentración del elemento por la materia seca del tejido (Rosen y Tong, 2001).

### **Etapa de almacenamiento**

Los bulbos cosechados en campo fueron clasificados y seleccionados por tamaño, libres de daños mecánicos y aparentemente sin patógenos. Posteriormente se almacenaron en bandejas plásticas a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y en cavas de refrigeración (10 ± 2 °C con 85% HR), durante 90 días bajo condiciones controladas de temperatura y HR (Cantwell *et al.*, 2003; Vásquez, 2005; Mujica y Pérez, 2006).

### ***Diseño experimental***

Se estableció un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos en factorial 3<sup>2</sup> x 2. Para el ensayo se empleó una muestra de 360 bulbos (5 bulbos x 4 repeticiones x 18 tratamientos). Para los análisis se tomó una muestra al azar de 4

bulbos x tratamiento (1 bulbo de cada repetición) (Pozzo *et al.*, 2005; Vásquez, 2005).

### ***Evaluación de la calidad del ajo***

Se realizaron evaluaciones al inicio del ensayo y a los 30, 60 y 90 días luego del almacenaje para determinar las siguientes variables:

**1. Pérdida de masa fresca (%MF):** Se determinó para los 9 tratamientos mediante el pesaje de los bulbos en balanza analítica marca Acculab, modelo VI-600 y luego se calculó el porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MF} = \text{MFI} - \text{MFF} / \text{MFI} \times 100$$

Donde: MFI = masa fresca inicial de bulbo

MFF = masa fresca final de bulbo

**2. Contenido de materia seca (MS):** Para determinar esta variable, los bulbos fueron secados en estufa a 70 °C durante 72 horas hasta alcanzar masa constante (Zambrano *et al.*, 1997), luego se obtuvo el promedio para cada tratamiento y fue expresado en g.planta<sup>-1</sup>.

**3. Contenido de sólidos solubles totales (SST):** Los bulbos fueron licuados con un procesador de alimentos durante un minuto y se tomó una gota del jugo la cual fue colocada en el sensor del refractómetro digital marca Atago, modelo PR-101, para una lectura directa, los valores se expresaron en °Brix (AOAC, 1999).

**4. Acidez total titulable (ATT):** Fue establecida siguiendo el protocolo AOAC (1999). Se determinó por titulación con NaOH 0,1 N hasta un punto final de pH de 8,1, medido en un potenciómetro marca Orion, modelo 420A y los resultados fueron

expresados como porcentaje de ácido pirúvico, utilizando un factor de conversión de 0,11.

**5. pH:** Este parámetro se estableció mediante la lectura directa del jugo obtenido de la misma muestra para los SST en un potenciómetro marca Orion, modelo 420A (AOAC, 1999).

**6. Contenido de piruvato:** El piruvato se determinó siguiendo la metodología utilizada por Schwimmer y Weston (1961) modificada por Bacón *et al.*, (1999), la cual está basada en una muestra de 10 g, filtrada y mezclada con una solución de 2,4 Dinitrofenilhidrazina (2,4 DNP), llevada a baño de maría a 37 °C durante 10 minutos, luego mezclada con 5 ml de NaOH 0,6 N y se tomó la lectura en espectrofotómetro marca Milton Roy, modelo Spectronic 21D, a una absorbancia de 420 nm.

**7. Color:** Se analizó el color del lado convexo de los bulbos, la medida se efectuó en los 4 puntos cardinales de los mismos utilizando un Reflectómetro marca HunterLab modelo ColorFlex 45/0, obteniéndose los índices **a\*** (positivo = rojo, negativo = negro), **b\*** (positivo = amarillo, negativo = azul), **L\*** (Value 100 = blanco, 0 = negro), por medio de **a\*** y **b\*** se calculó el ángulo **Hue** ( $\text{Arctang } b^*/a^* \times 180/3,14$ ) y el **Chroma**  $\sqrt{(a^2 + b^2)}$ , debido a que todos los valores se ubicaron en el segundo cuadrante (McGuire, 2002).

**8. Firmeza:** Fue determinada por el método de Gull (1983). La técnica consistió en medir la distancia de deformación causada por un punto de contacto cóncavo de 0,6 pulgadas bajo 2,2 libras de peso por un período de 5 segundos. Cada bulbo fue sujeto a 3 mediciones equidistantes en el plano ecuatorial. El valor fue multiplicado por un factor de 0,2, calculando luego el promedio por bulbo y registrándolo para cada repetición.

**9. Índice de brotación:** Se calculó por la relación entre la longitud del brote y la longitud del diente (Vásquez, 2005). Las mediciones se hicieron con un vernier digital.

## ***Determinación del Contenido de Quercetina***

### ***Material vegetal y obtención del extracto***

Se utilizaron dientes de ajo liofilizados (dds). La preparación del extracto se llevó a cabo siguiendo la misma metodología utilizada para las giberelinas (Vásquez, 2005).

### ***Separación y Cuantificación***

La separación y cuantificación de la Quercetina se llevó a cabo mediante HPLC utilizando un cromatógrafo Waters<sup>®</sup> modelo 486 en fase inversa, con una columna Symetry C<sub>18</sub> de 3.5 µm de tamaño de partícula y de 4.6 x 100 mm de diámetro y largo, respectivamente y un detector ultravioleta Waters 410, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nanómetros (nm).

Se utilizó una elusion isocrática en fase móvil metanol: agua (50:50 v/v) bajo un flujo de 1 mL.min (Mochizuki *et al.*, 1998 y Sarah 2005). Se inyectaron 10 µL<sup>-1</sup> del extracto metanólico en el equipo HPLC a 25 °C.

La cuantificación se realizó por el método de la curva estándar utilizando el patrón Quercetina 3-glucósido de Sigma<sup>®</sup> como compuesto referencia a diferentes concentraciones (0.13; 0.068; 0.034 y 0.017 mg.mL<sup>-1</sup>) y el factor de dilución (FD) se calculó: FD=5000 µL<sup>-1</sup>/mgSTD. Los mg de Quercetina en las muestras se calcularon por la curva: Y=18216X-15387. Los resultados fueron expresados como mg.g<sup>-1</sup> de masa fresca. Las determinaciones se hicieron al momento de la cosecha, seleccionando el mejor tratamiento y luego se evaluó su comportamiento a los 30, 60 y 90 días después del almacenaje.

## ***Determinación del Contenido de Alicin***

### ***Material vegetal y obtención del extracto***

Se tomó un bulbo por repetición de cada tratamiento, se desagranó y los dientes fueron liofilizados. Para la preparación del extracto se siguió el método

descrito por Perotto *et al.* (2008). Se tomó 1 g de la muestra triturada se homogenizó con 10 mL<sup>-1</sup> de agua destilada y se dejó en reposo durante 10 minutos. Luego se colectó 1 mL<sup>-1</sup> y se centrifugó a 14000 rpm por 5 minutos, pasado este tiempo se extrajeron 1000 µL<sup>-1</sup> del sobrenadante y se mezclaron con 1000 µL<sup>-1</sup> de metanol absoluto. Esta mezcla fue centrifugada a 14000 rpm durante 5 minutos y se tomó 1 mL<sup>-1</sup> del sobrenadante para inyectar en el cromatógrafo.

### ***Separación y Cuantificación***

La separación y cuantificación se llevó a cabo mediante HPLC utilizando un cromatógrafo Waters<sup>®</sup> modelo 486 en fase inversa, con una columna Symetry C<sub>18</sub> de 3.5 µm de tamaño de partícula y de 4.6 x 100 mm de diámetro y largo, respectivamente y un detector ultravioleta Waters 410, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nanómetros (nm).

Se utilizó una elusion isocrática en fase móvil metanol: agua (50:50 v/v) bajo un flujo de 1 mL.min (Mochizuki *et al.*, 1998 y Sarah 2005). Se inyectaron 10 µL<sup>-1</sup> del extracto metanólico en el equipo HPLC a 25 °C. Los tiempos de retención y el espectro de absorción obtenidos para cada muestra fueron comparados con el estándar comercial Allicin de Catalyst R&D<sup>®</sup>.

La cuantificación se realizó por el método de la curva estándar utilizando el allicin como compuesto referencia a diferentes concentraciones (0,0169; 0,0793; 0,1230; 0,1775 y 0,2550 g.5mL<sup>-1</sup>). El volumen final para cada dilución se midió en matraz aforado de 5 mL<sup>-1</sup> (5000 µL<sup>-1</sup>), dejando incubar 10 minutos a temperatura ambiente. Los mg.µL<sup>-1</sup> de allicin del estándar (STD) se obtuvieron: mg allicin=gSTDx7.2\*10<sup>-4</sup> y el factor de dilución (FD) se calculó: FD=5000 µL<sup>-1</sup>/gSTD. En resumen se inyectaron 1,2168\*10<sup>-5</sup>; 5,7096\*10<sup>-5</sup>; 8,8560\*10<sup>-5</sup>; 1,2780\*10<sup>-4</sup> y 1,8360\*10<sup>-4</sup> mg de allicin por µL<sup>-1</sup> del estándar. Los mg de allicin en las muestras se calcularon por la curva: Y=44164X-11951. Los resultados fueron expresados como mg.g<sup>-1</sup> de masa fresca. Las determinaciones se hicieron al momento de la cosecha, seleccionando el mejor tratamiento y luego se evaluó su comportamiento a los 30, 60 y 90 días después del almacenaje.

### *Análisis de los resultados*

Para el estudio de cada una de las variables se aplicaron las pruebas de Bartlett's para determinar la homogeneidad de varianza, y Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos.

De igual manera, se realizaron análisis de varianza y pruebas de media según Tukey con un nivel de  $P < 0,05$  para los tratamientos que resultaron significativos utilizando el paquete estadístico Statistic para Windows 8.0.

Para establecer la asociación entre algunas las variables evaluadas tanto en la etapa de campo como durante el almacenaje, se realizaron análisis de correlación según Pearson  $\leq 0,05$  obteniendo los coeficientes y los niveles de significancia.

Para analizar el comportamiento de las variables se construyeron cuadros y gráficos con los promedios de cada tratamiento indicando la media general, el coeficiente de variación y las barras del error estándar para cada grupo de casos.

**CAPITULO IV**  
**EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA NUTRICIÓN POTÁSICA**  
**SOBRE LOS COMPONENTES DEL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y**  
**RENDIMIENTO DEL AJO**

**Introducción**

El crecimiento demográfico de la población venezolana necesita el aumento de la producción hortícola debido a la firme reducción y/o degradación de los suelos, siendo imperante cultivar la tierra de forma sustentable, optimizar el uso del agua, mejorar la nutrición mineral y ejecutar otras labores más eficientemente y de manera efectiva.

En este sentido, el cultivo de ajo puede alcanzar un adecuado desarrollo de la planta y mayores rendimientos estableciéndolo bajo una óptima densidad de siembra, y con una excelente suplencia mineral, que minimicen la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes.

En Venezuela, el cultivo de ajo requiere diferentes estrategias para el mejor aprovechamiento de luz, agua, nutrientes y manejo de malezas, en vista de la poca biomasa desarrollada lo cual resulta en bajos rendimientos. Esto restringe el cultivo a las áreas rurales donde la alta calidad y el precio, más que los rendimientos, representan la única estrategia competitiva para comercializar el producto.

El manejo de la densidad de plantación es una alternativa para controlar el crecimiento y desarrollo de la planta, además del rendimiento y la calidad del bulbo. La competencia entre plantas depende de varias características, como la morfología de la planta, su capacidad para extraer agua y nutrientes del suelo, la respuesta a la temperatura y la exigencia de fotoperíodo, los cuales en conjunto o de forma individual afectan los rendimientos (Abdollah, 2009). La relación entre la densidad y la producción ha sido estudiada por muchos investigadores (Castellanos *et al.*, 2004; Shock *et al.*, 2004; Dale y Shumann, 2005; Ngouajio *et al.*, 2008), reportándose incrementos del rendimiento con el aumento de la densidad, pero que a su vez también reduce el tamaño del bulbo (Saleem, 2004).

Por otra parte, la nutrición mineral juega un rol crucial dentro del buen manejo de la plantación ya que permite el aumento de los rendimientos en los cultivos. La misma constituye una inversión clave en la tecnología hortícola moderna, por lo tanto, se debe hacer un uso eficiente y oportuno dentro del ciclo del cultivo.

Actualmente, el adecuado y balanceado uso de los nutrientes minerales junto con un manejo integrado de los costos de producción ha jugado un papel fundamental en el desarrollo sustentable de la agricultura. A pesar de que el manejo de los mismos es la manera más rápida para incrementar la producción, el excesivo incremento de la demanda en el país junto con su alto costo y otras variables tales como malas formulaciones, baja suplencia y poca disponibilidad de información en el momento oportuno durante el ciclo del cultivo, frecuentemente desaniman a los productores para utilizarlos en las dosis recomendadas y en la proporción balanceada (Gaviola y Lipinski, 2008).

Los fertilizantes comerciales ocupan un lugar importante en la nutrición de la planta. Sin embargo, el uso continuo de los mismos puede presentar varias implicaciones, particularmente la reducción de la productividad del suelo producto de la mineralización y la contaminación ambiental. Debido a esto los productores buscan otras alternativas como el reciclaje de los residuos de las cosechas (Sanyal y Dhar, 2008); no obstante, siempre va a ser necesaria la complementación mineral. Asimismo, se ha demostrado que se puede incrementar los rendimientos de los cultivos entre un 30 y 70% con el uso de dosis óptimas de nutrientes minerales (Moinuddin *et al.*, 2005).

Igual a otros cultivos, la producción de ajo también depende de la disponibilidad de nutrientes, ya que diferentes niveles de éstos afectan el rendimiento. De acuerdo con El-Desuki *et al.* (2006), una alta tasa de nitrógeno con una dosis óptima de fósforo y potasio incrementó el rendimiento en cebolla, pero una deficiencia de N podría reducir el tamaño del bulbo acelerando su desarrollo. Contrariamente, el exceso de N puede causar un cambio en el índice de madurez que aumenta el tamaño del bulbo y retarda su madurez. Generalmente, la aplicación excesiva de N incrementa el rendimiento pero baja la calidad en el almacenaje, mientras que el P y K lo mejoran (Boyhan *et al.*, 2007).

En Venezuela, la producción de ajo en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  es baja, y se debe principalmente, al uso inadecuado de las densidades de siembra y las dosis de fertilizantes por parte de los productores. El presente ensayo fue diseñado para determinar el efecto de la densidad de siembra adecuada y los niveles óptimos de  $\text{KNO}_3$  para obtener el máximo y provechoso rendimiento de este cultivo.

### **Materiales y métodos**

El ensayo fue establecido mediante un diseño de experimentos en parcelas divididas, donde las parcelas principales correspondieron a las densidades (33,33; 50 y 100 plantas. $\text{m}^2$ ) y las subparcelas a las dosis de  $\text{KNO}_3$  (25; 50 y 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), replicadas 5 veces y cultivado durante el año 2009. La siembra se realizó el 21 de Abril y la cosecha el 15 de Junio.

### **Evaluación durante el crecimiento y desarrollo del ajo**

Los datos concernientes al crecimiento y el desarrollo del cultivo se evaluaron a partir de las variables no destructivas y destructivas.

#### ***Variables no destructivas***

Número de hojas (hojas.planta $^{-1}$ ), índice relativo de clorofila, radiación fotosintética activa e índice de área foliar.

#### ***Variables destructivas***

Masa fresca del follaje y del bulbo ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), diámetro ecuatorial de los bulbos ( $\text{cm}\cdot\text{bulbo}^{-1}$ ) e índice de bulbificación, materia seca del follaje y del bulbo ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), tasa de asimilación neta ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ), coeficiente de partición, ritmo de crecimiento ( $\text{mg}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), contenido de NPK en la hoja y la extracción de estos elementos por el cultivo.

El rendimiento fue calculado en cada tratamiento como el producto de la masa fresca de los bulbos por la respectiva superficie de siembra, expresado en  $\text{kg}\cdot\text{parcela}^{-1}$  y luego extrapolado a  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

### **Análisis de los resultados**

Todos los datos fueron tomados de acuerdo a los métodos descritos en el capítulo III. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de media según Tukey con un nivel de  $P < 0,05$  para los tratamientos que resultaron significativos utilizando el paquete estadístico Statistic para Windows 8.0. Para establecer la asociación entre algunas las variables evaluadas se realizaron análisis de correlación según Pearson  $P < 0,05$  obteniendo los coeficientes y los niveles de significancia. Para analizar el comportamiento de las variables en cada fecha de muestreo se construyeron cuadros con los promedios de cada tratamiento indicando la media general y el coeficiente de variación para cada grupo de casos.

### **Resultados y discusión**

A continuación se presenta el efecto de la densidad de siembra y la fertilización potásica sobre el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de ajo, basado en las variables no destructivas y destructivas descritas en el capítulo III.

#### ***Número de hojas (NH)***

El número de hojas durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 5. A los 30, 60 y 90 dds no se determinaron interacciones entre los dos factores analizados. Sin embargo, para los 30 dds se observaron efectos individuales para la densidad pero no para la dosis donde todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con un promedio de  $4,8 \text{ hojas}\cdot\text{planta}^{-1}$ . En el caso de las densidades el mejor tratamiento fue con  $100 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$  con un promedio de  $5,1 \text{ hojas}\cdot\text{planta}^{-1}$ , seguido de los

tratamientos de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup> con 5,0 y 4,5 hojas.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Esta misma tendencia se observa para los 60 dds, en esta fecha el mejor tratamiento fue 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> con un promedio de 8 hojas.planta<sup>-1</sup>, seguido de 50 plantas.m<sup>-2</sup> con 7,4 hojas.planta<sup>-1</sup> y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 6,9 hojas.planta<sup>-1</sup>. Para las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con un promedio de 7,5 hojas.planta<sup>-1</sup>.

A los 90 dds el mejor tratamiento fue 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> con un promedio de 11,5 hojas.planta<sup>-1</sup>, mientras que 100 y 50 plantas.m<sup>-2</sup> resultaron estadísticamente iguales con promedios de 10 y 10,4 hojas.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. En el caso de las dosis de KNO<sub>3</sub> no se determinaron diferencias significativas entre las 3 dosis utilizadas, obteniéndose valores de 10,4; 10,8 y 10,7 hojas.planta<sup>-1</sup> para 25, 50 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cuadro 5. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el número de hojas en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Número de hojas (hojas.planta <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	5,0 ab	8,0 a	11,5 a
50	4,5 b	7,4 ab	10,4 b
100	5,1 a	6,9 b	10,0 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	5,0 a	7,5 a	10,4 a
50	4,8 a	7,3 a	10,8 a
100	4,8 a	7,5 a	10,7 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	4,9	7,4	10,6
CV	12,22	5,9	4,3

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos presentados en el Cuadro 5 se puede observar que inicialmente el efecto de densidad no mostró una tendencia definida porque en las primeras etapas del cultivo el crecimiento es muy lento. Luego, si exhibió una influencia significativa

en el número de hojas.planta<sup>-1</sup>. Las plantas crecidas en las parcelas con menor densidad (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) presentaron el máximo número de hojas, lo cual está asociado a la poca o ninguna competencia por luz, agua y nutrientes.

Al final de la evaluación la cantidad de hojas.planta<sup>-1</sup> decreció con el aumento de la población, registrándose el menor número de hojas en las plantas crecidas en las parcelas de mayores densidades. Este efecto se atribuye al aumento en la competencia por nutrientes y humedad del suelo en las plantas de las parcelas densamente pobladas.

Estas observaciones están en concordancia con otros trabajos donde se ha señalado que las plantas de *Allium* poco espaciadas tienden a crecer menos vegetativamente y producir menor cantidad de hojas.planta<sup>-1</sup>. Al respecto, Hossain *et al.* (2003) en ajo y Saleem (2004) en cebolla también reportaron una reducción en el número de hojas debido a los incrementos de las poblaciones de plantas. No obstante, Karaye y Yakubu (2006) encontraron que este parámetro se incrementó en ajo con distancias de 10 cm entre plantas en comparación con 15 y 20 cm.

Por su parte, Karim *et al.* (2003) señalaron que en los primeros estadios del cultivo, el sombreado mutuo puede impedir el crecimiento en los espaciamientos más estrechos, y luego, a medida que las plantas se van desarrollando y tornando adultas, los efectos de la creciente competencia por nutrientes y agua hacen que el crecimiento sea menor en las plantas con espaciamientos menores comparados con distanciamientos más grandes.

Por otro lado, en este ensayo el número de hojas no fue afectado por el aumento en la aplicación de KNO<sub>3</sub> en el suelo. Datos similares fueron reportados por Ramírez (2001) en cebolla con un máximo de 7 hojas.planta<sup>-1</sup>. La disrupción de los flujos de K puede ser alterada con altas concentraciones del elemento que rebasen la tolerancia fisiológica de la planta (Marschner, 2002). Además, la planta de ajo carece de pelos absorbentes lo cual pudiera influir sobre la absorción del K desde la solución del suelo. Al respecto, Moritzuka y Matsumoto (2006) han señalado que la eficiencia externa de la raíz es el primer mecanismo responsable de las pequeñas diferencias observadas en la absorción de K.

Estos resultados difieren a otros obtenidos por Saleem (2004) en cebolla, quien reveló que el número de hojas.planta<sup>-1</sup> (12,7) fue mayor con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de K, mientras que la menor cantidad de hojas.planta<sup>-1</sup> fue registrada en las plantas fertilizadas con la menor dosis de K (50 kg.ha<sup>-1</sup>). Asimismo, El-Desuki *et al.* (2006) reportaron un aumento en el número de hojas en las plantas de cebolla con la aplicación de dosis adicionales de K.

### ***Índice relativo de clorofila (IRC)***

El índice relativo de clorofila (IRC) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> se presenta en el Cuadro 6. A los 30, 60 y 90 dds no se determinaron interacciones entre los dos factores analizados. Sin embargo, para los 30 dds se observaron efectos individuales para la dosis de KNO<sub>3</sub>, pero no para las densidades donde todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con un promedio de 66,09 Unidades Spad (US). Para las dosis de KNO<sub>3</sub> utilizadas, el mejor tratamiento fue 25 kg.ha<sup>-1</sup> con un promedio de 68,45 US, seguido de los tratamientos de 100 y 50 kg.ha<sup>-1</sup> con promedios de 66,85 y 64,21 US, respectivamente.

Para los 60 dds no se observaron efectos individuales resultando todos los tratamientos estadísticamente iguales con promedios muy similares entre si. En este caso el uso de la mayor densidad (100 plantas.m<sup>-2</sup>) y la menor dosis (25 kg.ha<sup>-1</sup>) sería recomendable para aprovechar más la superficie y ser eficiente en la fertilización.

A los 90 dds, se determinaron efectos individuales de los factores. Para las densidades resultaron estadísticamente iguales los tratamientos de 50 y 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> con promedios de 77,43 y 77,7 US, seguidos del tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con un promedio de 71,3 US. En el caso de las dosis de KNO<sub>3</sub> el mejor tratamiento fue 100 kg.ha<sup>-1</sup> con un promedio de 76,88 US, seguido de 25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup> con promedios de 75,5 y 74,05 US.

Cuadro 6. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el índice relativo de clorofila en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Índice relativo de clorofila (Unidades Spad)		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	68,09 a	68,80 a	77,70 a
50	65,34 a	68,33 a	77,43 a
100	66,09 a	68,79 a	71,30 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	68,45 a	67,76 a	75,50 ab
50	64,21 b	69,15 a	74,05 b
100	66,85 ab	69,01 a	76,88 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	66,5	68,6	75,4
CV	4,19	4,82	2,02

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En el Cuadro 6 se puede observar que inicialmente el efecto de los factores no mostró una tendencia definida sobre el IRC porque en las primeras etapas del cultivo el crecimiento es muy lento debido a un pequeño aparato fotosintético. Luego, ambos factores si exhibieron una influencia significativa en el IRC. Al final de la evaluación, esta variable decreció con el aumento de la población y con la reducción de las dosis, registrándose el IRC más alto en las plantas crecidas en las parcelas de menores densidades y con mayores dosis de KNO<sub>3</sub>. Este efecto se atribuye a la poca competencia por luz en las mayores densidades y un mayor aprovechamiento del KNO<sub>3</sub> en esta fase del cultivo.

De acuerdo con Seversike *et al.* (2009), las plantas adultas se adaptan menos a diferentes condiciones de luminosidad que aquellas en desarrollo. En este ensayo, a los 90 dds se observó una reducción en el contenido de clorofila en las plantas crecidas en las parcelas más pobladas (100 plantas.m<sup>-2</sup>); sin embargo, a los 30 y 60 dds las 3 densidades resultaron con igual IRC, lo que pudiera explicar que al principio del crecimiento, las plantas de las parcelas con mayores densidades se adaptaron gradualmente a la competencia por luz.

Asimismo, a los 90 dds las plantas crecidas en las parcelas con menor densidad (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) registraron el mayor IRC en comparación con aquellas cultivadas en las parcelas más pobladas. Se ha reportado que las plantas que se desarrollan a mayores distanciamientos crecen más rápidamente en área foliar, y sus hojas presentan cloroplastos con más granas y mayor número de tilacoides que maximizan la absorción de luz; mientras que los cloroplastos de las hojas ubicadas bajo sombra se tornan de color naranja por fototaxia negativa (Blanke, 2009).

### *Índice de área foliar (IAF)*

El índice de área foliar (IAF) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> se presenta en los Cuadro 7. A los 30, 60 y 90 dds se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. Para los 30 dds, el mejor tratamiento resultó la combinación de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un IAF promedio de 0,4, seguido del tratamiento de 50 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con 0,39 de IAF. (Anexo 1).

A los 60 dds, la mejor combinación resultó la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un IAF promedio de 0,61; mientras que el peor tratamiento correspondió a 100 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un IAF de 0,46. En el caso de 90 dds, la mejor combinación fue 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un IAF medio de 1,08, seguido del tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> fertilizado con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y un IAF de 1,05. (Anexo 1).

Cuadro 7. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el índice de área foliar en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Índice de área foliar		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	0,27 b	0,57 a	1,06 a
50	0,37 a	0,50 b	0,97 b
100	0,36 a	0,48 c	0,89 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	0,34 a	0,49 b	0,95 b
50	0,31 b	0,53 a	0,97 a
100	0,34 a	0,52 ab	0,99 a
Densd x Dosis	*	**	**
Xm	0,33	0,51	0,97
CV	8,42	5,83	2,03

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos presentados en el Cuadro 7 se observa un incremento progresivo del IAF a medida que avanzó el ciclo del cultivo. En todas las fechas de muestreo se detectó un significativo aumento en el IAF con la reducción de la población de plantas y la aplicación de mayores dosis de KNO<sub>3</sub>. Las plantas crecidas en las parcelas con bajas densidades (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) registraron el mayor IAF en comparación con aquellas cultivadas a mayores poblaciones. Esto se podría explicar por el aumento en la competencia por nutrientes, humedad y luz en las parcelas mayormente pobladas. Las reducciones en el área foliar ocasionadas por el sombreado mutuo son, en la mayoría de los casos, resultantes de la poca expansión y división celular, lo cual ha sido demostrado en ajo (Rahim y Fordham, 1991; Stahlschmidt *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2004) y en cebolla (Saleem, 2004).

Por otro lado, la mayor disposición de KNO<sub>3</sub> pudiera compensar la competencia por nutrientes y favorecer el alargamiento y la expansión lateral de las células en las plantas crecidas en las parcelas donde se aplicaron las mayores dosis. Esto es consistente con reportes previos de que el K es el elemento osmótico dominante que contribuye con el alargamiento celular y consecuentemente con la

expansión de las hojas (Shabala, 2003). En este sentido, Wang (2007) reportó que *Phalaenopsis sp* produjo hojas más anchas con incrementos de los niveles de K en la solución nutritiva. Sin embargo, Ramírez (2001) no encontró efecto significativo de la aplicación de potasio sobre el índice de área foliar en cebolla.

### ***Radiación fotosintética activa (RFA)***

La radiación fotosintética activa (RFA) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 8. A los 30, 60 y 90 dds no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados, pero si se encontraron efectos individuales. Para los 30 dds, en el caso de las densidades el mejor tratamiento fue con 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  con un promedio de 1707,2  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , seguido de las densidades de 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 1471,2 y 1269,7  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Para las dosis de  $\text{KNO}_3$  utilizadas, la mejor dosis fue 50  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con un promedio de 1539,5  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , luego se ubicó la dosis de 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con un promedio de 1493,5  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  y finalmente 25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con valor de 1415  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

A los 60 dds, las densidades de 33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  resultaron estadísticamente iguales con valores promedios de 1638,8 y 1536,7  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente; mientras que con 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  se alcanzó una RFA de 1290,9  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Para las dosis de  $\text{KNO}_3$ , la mejor dosis fue 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con promedio de 1563,1  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , seguido de 25 y 50  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con valores de 1479,3 y 1424  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente.

Para los 90 dds, las menores densidades (33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) resultaron estadísticamente iguales con valores promedios de 1838,1 y 1596,2  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente, mientras que la mayor densidad (100 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) alcanzó una RFA de 1345,1  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Un efecto contrario se observó para las dosis de  $\text{KNO}_3$ , donde las mayores dosis (50 y 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ) resultaron estadísticamente iguales con valores de 1645,4 y 1643,1  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente; y la menor dosis (25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ) tuvo un valor de 1490,8  $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Cuadro 8. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre la radiación fotosintéticamente activa en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )			
33,33	1707,2 a	1638,8 a	1838,1 a
50	1471,2 ab	1536,7 a	1596,2 a
100	1269,7 b	1290,9 b	1345,1 b
Dosis KNO <sub>3</sub> ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )			
25	1415,0 b	1479,3 ab	1490,8 b
50	1539,5 a	1424,0 b	1645,4 a
100	1493,5 ab	1563,1 a	1643,1 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	1482,7	1488,8	1593,1
CV	7,15	7,22	7,85

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En el Cuadro 8 se puede notar que inicialmente el efecto de los factores no mostró una tendencia bien definida porque en las primeras etapas del cultivo el crecimiento es muy lento y la capacidad para captar luz es baja. Al final de la evaluación si exhibió una influencia significativa en la RFA ya que las plantas estaban más desarrolladas. En esta etapa, los valores de RFA decrecieron con el aumento de la población y con la reducción de las dosis de KNO<sub>3</sub>, observándose una respuesta diferencial entre los tratamientos.

Se observó una reducción significativa en la RFA con el aumento de la densidad. Las plantas desarrolladas en las parcelas con bajas densidades (33,33  $\text{plantas.m}^{-2}$ ) registraron las mayores tasas de RFA, los valores más bajos fueron encontrados en las plantas de las parcelas con mayor población. Indudablemente que esta respuesta se debe al autosombreo entre ellas.

Existe una relación estrecha entre el IAF y la RFA, es decir, las plantas con mayor IAF tienen mayor capacidad para captar más energía que posibilita el uso de toda la cantidad de radiación luminosa que llega hasta sus hojas para producir fotosintatos (Seversike *et al.*, 2009). Este factor puede permitir la fijación de CO<sub>2</sub> aún

a bajos niveles de radiación neta con un costo mínimo de energía para producir y mantener el aparato fotosintético (Blanke, 2009).

Por lo tanto, con bajos niveles de radiación las plantas de ajo, igual que otras especies, pudieran desarrollar un mecanismo de compensación que les permita aumentar el IAF para interceptar mayor radiación. El IAF es considerado el componente morfológico del rendimiento en ajo, la arquitectura de la planta y el tipo de hoja permiten una mayor eficiencia del aparato fotosintético (Stahlschmidt *et al.*, 1997).

### ***Producción de biomasa vs RFA***

Para la relación entre la producción de biomasa y la RFA se determinaron correlaciones altamente significativas (Cuadro 9). Para los 30, 60 y 90 dds se estableció una correlación positiva con coeficientes de 0,5236, 0,6524 y 0,7830 respectivamente. En la Figura 3 se puede observar que la velocidad de producción de biomasa es constante y se incrementa proporcionalmente a la RFA a medida que avanza el crecimiento vegetativo y se inicia el proceso de formación del bulbo, alcanzando una biomasa total de 47,73 g.planta<sup>-1</sup> con una RFA de 1593,11  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  al final del período de crecimiento del cultivo.

La producción de biomasa depende tanto de la intercepción de la radiación incidente por las hojas como de la eficiencia en la cual esa radiación es interceptada para producir biomasa (Plénet *et al.*, 2000). Se ha reportado que esta eficiencia es constante en muchos cultivos, sin embargo, también se han documentado diferencias debido a los cambios que prevalecen en la radiación del ambiente (Seversike *et al.*, 2009). Al respecto, Rahman *et al.* (2007) reportaron un incremento lineal del crecimiento y la biomasa en coliflor con aumentos en la radiación incidente. Por su parte, Rahim y Fordham (1991) observaron la misma respuesta de incrementos en el área foliar de ajo debido a altas tasas de radiación.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y la producción de biomasa ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de la siembra	$R^2$	Significancia
30	0,5236	**
60	0,6524	**
90	0,7830	**

(Pearson < 0,05)

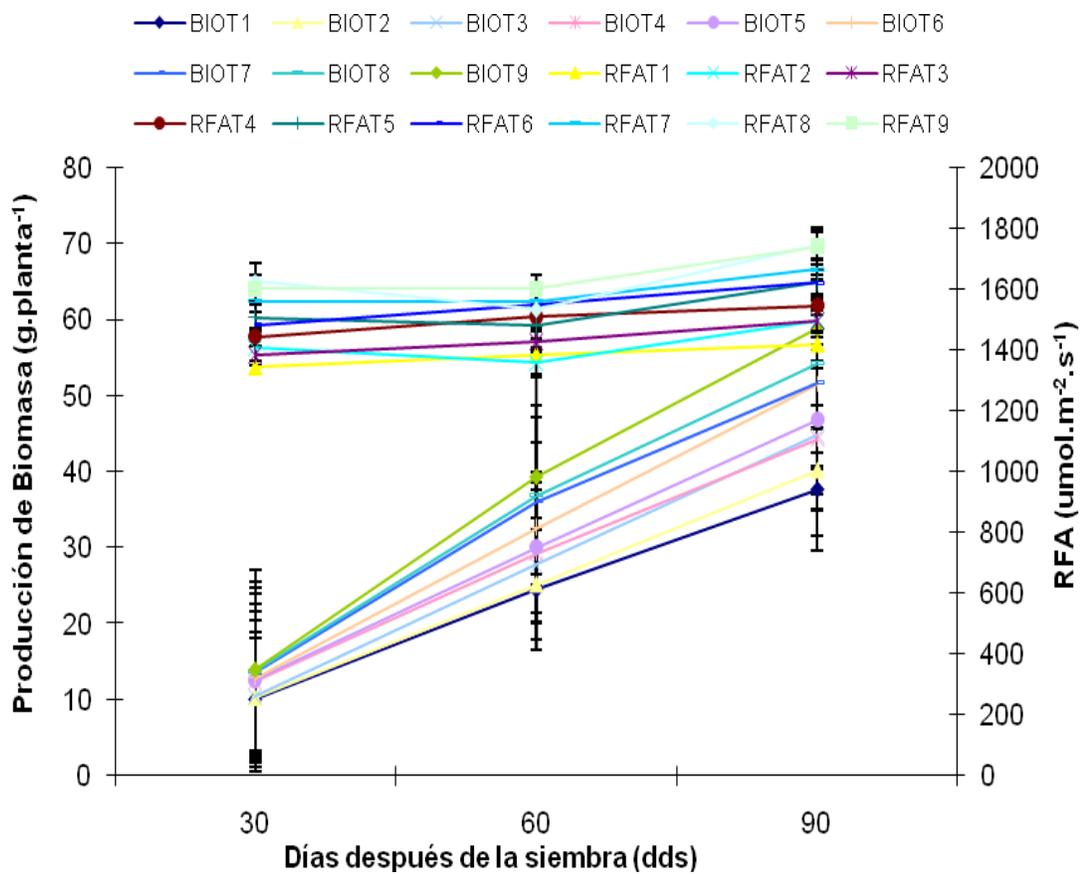


Figura 3. Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la producción de biomasa (BIO) para las 3 fechas de muestreo evaluadas. T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3.

### *Masa fresca del follaje (MFF)*

La masa fresca del follaje (MFF) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 10. A los 30, 60 y 90 dds no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados, pero si se encontraron efectos individuales para las densidades. En los primeros 30 dds las menores densidades (33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>) resultaron estadísticamente iguales con valores promedios de 13,24 y 11,15 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que la mayor densidad (100 plantas.m<sup>-2</sup>) alcanzó una MFF de 7,06 g.planta<sup>-1</sup>. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  no se encontraron diferencias significativas entre ellas, pero la mayor dosis (100 kg.ha<sup>-1</sup>) reflejó la tendencia más alta con 11,14 g.planta<sup>-1</sup>.

A los 60 dds se establecieron diferencias significativas entre las 3 densidades, correspondiendo a la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> el mayor valor con 30,2 g.planta<sup>-1</sup> de MFF, seguido de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 19,89 y 12,82 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se detectaron diferencias significativas, se observó un efecto inverso a la densidad donde la mayor dosis (100 kg.ha<sup>-1</sup>) resultó estadísticamente superior con un valor de 23,44 g.planta<sup>-1</sup>, seguida por 50 y 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 20,23 y 19,24 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para los 90 dds en las densidades se observó una tendencia similar a los 60 dds, detectándose diferencias significativas entre los tratamientos, correspondiendo la mayor MFF (30,3 g.planta<sup>-1</sup>) a la menor densidad (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>), seguido de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 22,61 y 15,87 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. En el caso de las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se establecieron diferencias significativas, el mejor tratamiento resultó la dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> con un valor de 27 g.planta<sup>-1</sup>, mientras que las menores dosis (25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup>) resultaron estadísticamente iguales con valores de 20,5 y 21,29 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cuadro 10. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre la masa fresca del follaje en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Masa fresca del follaje ( $\text{g.planta}^{-1}$ )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )			
33,33	13,24 a	30,20 a	30,30 a
50	11,15 a	19,89 b	22,61 b
100	7,06 b	12,82 c	15,87 c
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )			
25	9,87 a	19,24 b	20,50 b
50	10,44 a	20,23 ab	21,29 b
100	11,14 a	23,44 a	27,00 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	10,48	20,97	22,93
CV	19,79	15,10	14,98

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En los datos del Cuadro 10 se evidencia que la MFF mantuvo un incremento progresivo a medida que avanzó el ciclo del cultivo. Sin embargo, durante los primeros 60 dds la velocidad de acumulación de MFF fue más rápida lo cual coincide con la etapa de crecimiento vegetativo, mientras que a los 90 dds este proceso es menos pronunciado porque ha comenzado la fase de formación de bulbo.

Por otra parte, las diferentes densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  exhibieron un efecto significativo sobre la MFF, de manera que las plantas crecidas en las parcelas densamente pobladas y fertilizadas con menores dosis produjeron menor masa fresca de follaje comparadas con las parcelas escasamente pobladas y de mayores dosis de  $\text{KNO}_3$ , la respuesta varió entre los tratamientos. El efecto individual de los 2 factores evaluados se corresponde con un aumento en el número de hojas y en el índice de área foliar, en consecuencia se produce una mayor acumulación de masa fresca por la movilización de fotosintatos (Mengel y Kirkby, 2001).

Los resultados encontrados muestran que a medida que aumentó la densidad, la competencia por agua, luz y nutrientes fue mayor entre las plantas, por lo tanto el crecimiento vegetativo fue afectado; mientras que la mayor dosis de  $\text{KNO}_3$ , estimuló

una mayor acumulación de biomasa y desarrollo de las plantas. Esto confirma lo postulado por Arguello *et al.* (2006) de que en ajo la absorción de nutrientes está en función del crecimiento ya que su incremento provoca una mayor masa foliar.

El aumento en la MFF con reducciones en las poblaciones también fue observado en cebollas (Ramírez, 2001, Saleem, 2004) y con incrementos en las tasas de K por El-Desuki *et al.* (2006) en el mismo cultivo.

### ***Materia seca del follaje (MSF)***

La materia seca del follaje (MSF) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se muestra en el Cuadro 11. A los 30 y 60 dds se encontraron efectos individuales, pero no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. En el caso de las densidades, para los 30 dds las menores poblaciones (33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) registraron los mayores valores de MSF con 1,8 y 1,5  $\text{g.planta}^{-1}$ , respectivamente; mientras que la mayor densidad (100 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) alcanzó la menor MSF con 1,01  $\text{g.planta}^{-1}$ . Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  no se encontraron diferencias significativas entre ellas, pero la mayor dosis (100  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) presentó la tendencia más alta con 1,81  $\text{g.planta}^{-1}$ .

A los 60 dds se establecieron diferencias significativas entre las 3 densidades, correspondiendo a la menor densidad (33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) el mayor valor de MSF con 5,12  $\text{g.planta}^{-1}$ , seguido de 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 3,41 y 2,21  $\text{g.planta}^{-1}$  de MSF, respectivamente. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  también se detectaron diferencias significativas, se observó un efecto inverso a la densidad donde la mayor dosis (100  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) resultó estadísticamente superior con 3,98  $\text{g.planta}^{-1}$  de MSF, seguida por 50 y 25  $\text{kg.ha}^{-1}$  con 3,52 y 3,23  $\text{g.planta}^{-1}$ , respectivamente.

Para los 90 dds se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. La mejor combinación correspondió al tratamiento de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  con una MSF de 5,19  $\text{g.planta}^{-1}$ , seguido por el tratamiento de 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 50  $\text{kg.ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  con 4,08  $\text{g.planta}^{-1}$ , y finalmente

se ubicó el tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un valor de 3,33 g.planta<sup>-1</sup>.

Cuadro 11. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre la materia seca del follaje en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Materia seca del follaje (g.planta <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	1,80 a	5,12 a	5,43 a
50	1,52 a	3,41 b	4,23 b
100	1,01 b	2,21 c	2,92 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	1,40 a	3,23 b	3,70 b
50	1,42 a	3,52 ab	3,93 b
100	1,81 a	3,98 a	4,96 a
Densd x Dosis	ns	ns	*
Xm	1,44	3,58	4,20
CV	18,39	13,78	14,28

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En el Cuadro 11 se observa que no se produjeron incrementos significativos en la MSF hasta los 60 dds aproximadamente. A partir de este momento, la masa seca aérea se incrementa sustancialmente hasta los 90 dds correspondiéndose con un aumento en el IAF e indicando mayor capacidad fotosintética. Este comportamiento evidencia que inicialmente las hojas son principalmente importadoras de asimilados, y luego de los 60 dds se convierten en exportadoras de éstos. Después de alcanzar el valor máximo a los 90 dds, la MSF disminuye por la senescencia y la muerte de las hojas.

Las respuestas diferenciales a los 90 dds se deben al efecto de la interacción significativa densidad x dosis encontrada. De tal forma que las plantas cultivadas en las parcelas escasamente pobladas y suplementadas con las mayores dosis presentaron poca o ninguna competencia para su crecimiento vegetativo, en consecuencia tuvieron un mayor aparato fotosintético y una mejor eficiencia

fotosintética en comparación con las plantas de las parcelas densamente pobladas y con aplicación de menores dosis de  $\text{KNO}_3$ . Al respecto, Stahlschmidt *et al.* (1997) señalaron que en ajo la mayor acumulación de materia seca aérea está directamente relacionada con el desarrollo y la duración del área foliar.

Por otra parte, se estableció una relación estrecha entre la masa fresca y la materia seca del follaje ya que se mantuvieron las mismas tendencias durante el ciclo del cultivo y conservaron las proporciones entre una y otra durante los 30, 60 y 90 dds, correspondiendo la diferencia sólo al contenido de agua.

Ledezma *et al.* (1997) observaron un comportamiento similar en la materia seca aérea de ajo cv Rosado Paraguayo, con un incremento a partir de los 60 dds manteniéndose hasta los 140 dds, y que además coincidió con un aumento del IAF hasta los 110 dds. Esta misma tendencia fue determinada en cebollas por Saleem (2004) quien reportó los mayores valores de materia seca aérea a medida que se redujo la densidad de plantas y El-Desuki *et al.* (2006) determinó una respuesta similar con incrementos en las dosis de K.

### ***Masa fresca del bulbo (MFB)***

La masa fresca del bulbo (MFB) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 12. A los 30 y 60 dds se encontraron efectos individuales, pero no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. En el caso de las densidades, para los 30 dds se establecieron diferencias significativas entre ellas. En este sentido, las menores densidades (33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) resultaron estadísticamente iguales con los mayores valores de MFB (2,16 y 1,96 g.planta $^{-1}$ , respectivamente), mientras que con 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  se alcanzó el menor valor con 1,31 g.planta $^{-1}$ . Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  no se encontraron diferencias significativas entre ellas, aunque con 25 kg.ha $^{-1}$  la tendencia fue más alta con 1,84g.planta $^{-1}$ .

A los 60 dds se establecieron diferencias altamente significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  el mayor valor de MFB con 13,43 g.planta $^{-1}$ , seguido de las densidades de 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 10,15 y 7,43

g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> también se detectaron diferencias significativas, se observó un efecto inverso a la densidad donde la dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> resultó estadísticamente superior con un valor de 11,72 g.planta<sup>-1</sup> de MFB; mientras que las dosis de 50 y 25 kg.ha<sup>-1</sup> resultaron estadísticamente iguales con valores de 9,93 y 9,36 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para los 90 dds se detectaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. La mejor combinación correspondió al tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un valor de 39,51 g.planta<sup>-1</sup> de MFB, seguido por el tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con 29,3 g.planta<sup>-1</sup>, y finalmente se ubicó el tratamiento de 50 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un valor de 27,2 g.planta<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Cuadro 12. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre la masa fresca del bulbo en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Masa fresca del bulbo (g.planta <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	2,16 a	13,43 a	31,74 a
50	1,96 a	10,15 b	24,65 b
100	1,31 b	7,43 c	33,91 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	1,84 a	9,36 b	20,83 c
50	1,78 a	9,93 b	25,11 b
100	1,51 a	11,72 a	28,50 a
Densd x Dosis	ns	ns	*
Xm	1,81	10,34	24,81
CV	19,44	12,94	11,13

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos reflejados en el Cuadro 12 se puede notar que durante las primeras fases del cultivo la acumulación de MFB es muy lenta ya que corresponde al crecimiento vegetativo, por lo tanto el mayor aprovechamiento de los elementos minerales en especial nitrógeno, se dirige hacia la formación de follaje. A partir de

los 60 dds cuando empieza la bulbificación la velocidad de acopio de MFB se incrementa vertiginosamente porque el bulbo está en pleno crecimiento y recibe la mayor translocación de K y fotoasimilados hacia ese órgano de reserva.

Hacia los 90 dds comienza la etapa de llenado del bulbo, esto se corresponde con la detención del ritmo de crecimiento en la parte aérea ocurriendo la senescencia foliar como consecuencia del traslado de los fotosintatos al bulbo, evidenciado por el aumento en su masa fresca y que demuestra la alta eficiencia de este cultivo (Daie, 1985). Resultados similares de masa fresca del bulbo en ajo han sido obtenidos por otros autores (Mann, 1952; Arguello *et al.* 2006; Karaye y Yakubu, 2006).

En esta investigación, durante la etapa de llenado del bulbo la densidad de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$  afectaron la MFB. Las plantas crecidas en las parcelas menos pobladas y suplidas con las mayores dosis produjeron los bulbos con mayor masa fresca.planta<sup>-1</sup> comparado con aquellas de las parcelas mayormente pobladas y fertilizadas a bajas dosis. A medida que se redujo la densidad y se aumentaron las dosis, las plantas entraron en menor competencia por agua, luz y nutrientes por lo tanto desarrollaron un mayor aparato fotosintético que les permitió repartir mayor cantidad de asimilados hacia el bulbo. Esto evidencia la asociación estrecha entre la masa fresca y la conversión de sólidos solubles del bulbo. Al respecto, Stahlschmidt *et al.* (1997) indicaron que el rendimiento en ajo tiene relación directa con el patrón de distribución de biomasa hacia los diferentes órganos de la planta.

Russo (2008) determinó incrementos en la masa fresca del bulbo en cebolla aumentando las distancias entre plantas e hileras. Por su parte, Boyhan *et al.* (2007) observaron la misma tendencia al incrementar las tasas de K hasta 84 kg.ha<sup>-1</sup>.

### ***Materia seca del bulbo (MSB)***

La materia seca del bulbo (MSB) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se muestra en el Cuadro 13. A los 30 y 60 dds se encontraron efectos individuales entre los dos factores analizados, pero no se determinaron interacciones significativas. En el caso de las densidades, para los 30 dds mostraron diferencias significativas sobre la

variable MSB. En este sentido, las menores densidades (33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>) resultaron estadísticamente iguales con 0,40 y 0,33 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup> alcanzó el menor valor con 0,24 g.planta<sup>-1</sup>. Para las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> no se encontraron diferencias significativas entre ellas, pero la menor dosis (25 kg.ha<sup>-1</sup>) presentó una tendencia ligeramente más alta con 0,34 g.planta<sup>-1</sup>.

A los 60 dds no hubo efectos individuales de los factores sobre la variable MSB. Sin embargo se observó una tendencia a acumular mayor MSB en las menores densidades y con la aplicación de las mayores dosis. En este caso, la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> alcanzó el valor más alto con 4,05 g.planta<sup>-1</sup>, mientras que la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup> obtuvo 2,26 g.planta<sup>-1</sup>. De igual manera, la mayor dosis (100 kg.ha<sup>-1</sup>) alcanzó un valor de 3,62 g.planta<sup>-1</sup>, en comparación con la dosis de 25 kg.ha<sup>-1</sup> que logró 2,89 g.planta<sup>-1</sup>.

Para los 90 dds se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. La mejor combinación correspondió al tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un valor de 26,8 g.planta<sup>-1</sup> de MSB, seguido por la combinación de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con valor medio de 20,0 g.planta<sup>-1</sup>, y finalmente se ubicó el tratamiento de 50 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con un valor de 18,2 g.planta<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Cuadro 13. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre la materia seca del bulbo en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Materia seca del bulbo ( $\text{g.planta}^{-1}$ )		
	Ddías después de la siembra		
	30	60	90
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )			
33,33	0,40 a	4,05 a	21,02 a
50	0,33 a	3,12 a	16,05 b
100	0,24 b	2,26 a	11,59 c
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )			
25	0,34 a	2,89 a	13,07 c
50	0,30 a	2,93 a	16,76 b
100	0,33 a	3,62 a	18,82 a
Densd x Dosis	ns	ns	*
Xm	0,32	3,14	16,22
CV	27,36	24,86	12,01

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En los datos del Cuadro 13 se observa la tendencia de la materia seca del bulbo a incrementarse con el tiempo de cultivo. En la misma se puede notar que el comienzo de la partición de materia seca hacia el bulbo ocurrió una vez iniciada su formación (60 dds). A partir de ese momento, la velocidad de acumulación de MSB se incrementa aceleradamente debido al mejor aprovechamiento del  $\text{KNO}_3$ , el cual promueve la mayor movilización de fotosintatos hacia el bulbo, notándose respuestas diferenciales entre los tratamientos al final del período del cultivo (90 dds).

El aumento de la MSB alrededor de los 90 dds marcó el momento en que los tejidos de la parte aérea sufrieron importante procesos metabólicos que promovieron aumentos en la permeabilidad de las membranas y facilitaron la etapa de llenado del bulbo (Arguello *et al.*, 2006). Como se aprecia en los datos presentados en el Cuadro 13, se produjeron dos incrementos significativos en la MSB, el primero al comienzo de la bulbificación (60 dds) fundamentado por la gran actividad meristemática en el bulbo con la diferenciación de las yemas y la formación de los dientes, el segundo ocurrió hacia los 90 dds debido principalmente a la translocación de nutrientes y asimilados desde la parte aérea hacia el bulbo, como consecuencia de la senescencia foliar (Brewster, 1986).

La partición de asimilados en ajo responde a las condiciones de luz, fotoperíodo y temperatura, a medida que la longitud del día aumenta, los dientes se convierten en fuertes sumideros hasta que eventualmente la planta no produce más hojas. De esta manera, el rendimiento final es el resultado de una estrecha relación entre el área foliar durante la bulbificación y la duración de este proceso (Ramírez, 2001).

Ledezma *et al.* (1997) y Arguello *et al.* (2006) observaron una respuesta similar en la materia seca del bulbo de ajo cv Rosado Paraguayo, aunque con algunas diferencias en los días después de siembra para las etapas de inicio y llenado del bulbo ya que este cultivar de ajo se considera de días largos.

### ***Diámetro ecuatorial del bulbo (DE)***

El diámetro ecuatorial del bulbo (DE) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 14. A los 30 dds se observaron efectos individuales para las densidades, donde los tratamientos de 33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  resultaron estadísticamente iguales, aunque con una tendencia ligeramente superior en la primera con 1,4 cm.bulbo $^{-1}$ ; mientras que la densidad de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  alcanzó 1,16 cm.bulbo $^{-1}$ . Sin embargo, para la dosis de  $\text{KNO}_3$  no hubo efecto sobre la variable donde todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con un DE máximo de 1,33 cm para la dosis de 50 kg.ha $^{-1}$ . Para esta fecha de muestreo no se determinaron interacciones entre los dos factores analizados.

A los 60 dds, se establecieron diferencias significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  el mayor DE con 3,19 cm.bulbo $^{-1}$ ; mientras que 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  fueron estadísticamente iguales con 2,64 y 2,42 cm.bulbo $^{-1}$ , respectivamente. En el caso de las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$ , la dosis de 100 kg.ha $^{-1}$  obtuvo el mayor diámetro con 2,93 cm.bulbo $^{-1}$  y las otras dosis (25 y 50 kg.ha $^{-1}$ ) resultaron estadísticamente iguales con 2,68 y 2,65 cm.bulbo $^{-1}$ , respectivamente. En esta fecha de muestreo tampoco se determinaron interacciones entre los dos factores analizados.

Para los 90 dds, se detectaron diferencias altamente significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> el mayor DE con 4,61 cm.bulbo<sup>-1</sup>, seguido de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 4,33 y 3,77 cm.bulbo<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> también se determinaron diferencias significativas; los mayores tratamientos (50 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>) resultaron estadísticamente iguales con 4,28 y 4,41 cm.bulbo<sup>-1</sup> y la dosis de 25 kg.ha<sup>-1</sup> alcanzó el valor más bajo con 4,02 cm.bulbo<sup>-1</sup>.

Cuadro 14. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el diámetro ecuatorial del bulbo en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Diámetro ecuatorial del bulbo (cm.bulbo <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	1,42 a	3,19 a	4,61 a
50	1,39 a	2,64 b	4,33 b
100	1,16 b	2,42 b	3,77 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	1,32 a	2,68 b	4,02 b
50	1,33 a	2,65 b	4,28 a
100	1,32 a	2,93 a	4,41 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	1,32	2,75	4,24
CV	6,38	6,62	4,13

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En el Cuadro 14 se puede notar que el DE registró un aumento progresivo a medida que avanzó el ciclo del cultivo. Sin embargo, en los primeros 30 dds el crecimiento de la planta es sólo vegetativo, el bulbo no ha iniciado su formación y por lo tanto el DE registró valores muy bajos porque correspondió al volumen en la base de las hojas.

A partir de los 60 dds el diámetro se duplicó ya que en esta etapa había ocurrido el desarrollo de los primordios de los dientes y comenzó la formación del bulbo. Durante esta fase del cultivo las yemas inician la actividad meristemática y

experimentan cambios morfogénicos que conducen a formar los dientes (Nuñez *et al.*, 1997). La misma se produce por la captación del estímulo termo y fotoperiódico, requisito indispensable para que la bulbificación se exprese (Ledezma *et al.*, 1997). El estímulo es captado por las primeras hojas expandidas y se traslada a la parte basal de las mismas, donde se origina el bulbo (Brewster, 1986).

A los 90 dds el DE alcanzó su máximo desarrollo, el cual se correspondió con un mayor índice de área foliar y una mayor tasa de asimilación neta. De acuerdo con Arguello *et al.* (2006) el crecimiento de los dientes y por consiguiente el del bulbo está en función de la biomasa aérea producida y del aporte de fotoasimilados.

En esta investigación los tratamientos afectaron significativamente la variable DE, se observó una reducción significativa en el diámetro del bulbo con al aumento en la densidad de siembra. Las plantas crecidas en las parcelas con bajas poblaciones (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) registraron los bulbos de mayor diámetro en comparación con aquellas densamente pobladas donde se registraron los menores diámetros, detectándose diferencias significativas entre si. Esto puede ser atribuido al incremento en la competencia por luz, nutrientes y humedad del suelo en las poblaciones más densas que resultó en menor acumulación de biomasa en el bulbo.

Estas observaciones comprueban las respuestas encontradas por Karaye y Yakubu (2006) los cuales revelaron un aumento en el diámetro de los bulbos de ajo con las menores densidades de poblaciones. Asimismo, Saleem (2004) y Russo (2008) reportaron reducciones en el tamaño de los bulbos de cebolla con aumentos en la densidad de plantas.

De igual manera, las diferentes dosis de KNO<sub>3</sub> exhibieron un efecto significativo sobre el diámetro del bulbo. Las mayores dosis produjeron los bulbos de mayor diámetro los cuales difirieron significativamente de los otros tratamientos. Esto concuerda con lo reportado por El-Desuki *et al* (2006) y Boyhan *et al.* (2007) quienes encontraron un máximo diámetro en bulbos de cebolla con la aplicación de 100 y 83 kg.ha<sup>-1</sup> de K, respectivamente. No obstante, Ramírez (2001) no reportó aumento en esta misma variable para cebolla utilizando dosis de K muy superiores (300 kg.ha<sup>-1</sup>).

### *Índice de bulbificación (IB)*

El índice de bulbificación (IB) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se presenta en el Cuadro 15. A los 30, 60 y 90 dds se encontraron efectos individuales de los factores analizados, aunque no se determinaron interacciones significativas. En el caso de las densidades, para los 30 dds se establecieron diferencias significativas entre ellas. En este sentido, la densidad de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  presentó la tendencia más alta para el IB con 0,63, seguido por 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 0,62 y finalmente 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 0,58. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  no se encontraron diferencias significativas entre ellas, pero la mayor dosis (100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) reflejó la tendencia más alta con 0,62.

A los 60 dds los 2 factores no afectaron significativamente la variable, para las densidades la tendencia más alta correspondió a 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 0,62; mientras que para las dosis de  $\text{KNO}_3$  la mejor tendencia se registró en 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  con 0,35 de IB.

Para los 90 dds, se detectaron diferencias altamente significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  el mayor IB con 0,21, seguido de 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 0,20 y 0,17, respectivamente. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  también hubo diferencias significativas, las menores dosis (25 y 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) resultaron estadísticamente iguales con 0,19 y 0,18 y la dosis de 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  alcanzó el mayor valor con 0,21 de IB.

Cuadro 15. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el índice de bulbificación en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Índice de bulbificación		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	0,63 a	0,36 a	0,21 a
50	0,62 ab	0,34 a	0,20 b
100	0,58 b	0,30 a	0,17 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	0,60 a	0,32 a	0,19 b
50	0,60 a	0,35 a	0,18 b
100	0,62 a	0,34 a	0,21 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	0,61	0,34	0,19
CV	8,58	10,14	10,12

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05.

En el Cuadro 15 se puede notar que el IB fue disminuyendo a medida que avanzó el ciclo del cultivo. Este comportamiento se debe a que inicialmente el follaje estaba en activo crecimiento, en esta etapa no habían emergido los primordios de los dientes y la planta se encontraba en una fase llamada por los productores como “cabeza de lagartija”, por lo tanto el IB presentó su máximo valor (0,61). Nuevo y Bautista (2001) reportaron que en las primeras fases de crecimiento de la planta de ajo el diámetro del cuello es alto debido al crecimiento vegetativo.

A los 60 dds, el IB había disminuido significativamente ya que en este momento se había iniciado la bulbificación, esto evidenció un aumento significativo en el diámetro ecuatorial del bulbo e indicó el comienzo de la etapa morfogénica (Nuñez *et al.*, 1997). En este sentido, Mann (1952) y Ledezma *et al.* (1997) señalaron que la formación del bulbo se hace visible cuando el IB alcanza un valor  $\leq 0,5$ ; en esta investigación ese valor se registró a los 50 dds aproximadamente. A partir de los 60 dds en adelante (IB = 0,34), la materia seca del follaje se mantuvo casi constante lo que indicó que se estaba produciendo la exportación de fotoasimilados hacia el bulbo.

Hacia el final de la etapa morfogénica comienza el llenado del bulbo (90 dds). En esta fase del cultivo el IB alcanzó su mínimo valor (0,19) porque la planta estaba dedicada a la translocación de fotosintatos al bulbo y se había detenido el crecimiento del follaje. Esto se correspondió con una mayor tasa de asimilación neta ( $267,5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ) y un mayor coeficiente de partición (3,91) (Cuadros 16 y 17). Resultados similares de IB en ajo cv Rosado Paraguayo han sido obtenidos por otros autores (Ledezma *et al.*, 1997; Nuñez *et al.*, 1997) aunque con diferencias en el ciclo del cultivo por tratarse de cultivares de ciclo más largo.

De acuerdo con Lancaster *et al* (1996) el índice de bulbificación es un parámetro que se utiliza para estimar el tiempo de formación de bulbo; los autores utilizaron un IB de 1,2 para enfocar los primeros procesos fisiológicos en el ciclo de cebolla. En este ensayo los datos muestran que en las fases iniciales del ajo criollo el IB alcanzó un valor máximo de 0,61 y la bulbificación comenzó a los 60 luego de la siembra (IB = 0,34), la cual se realizó en abril donde se han reportado los fotoperíodos más largos y las temperaturas nocturnas más altas para el trópico (Ramírez, 2001). La longitud del día ha sido reportada como el factor ambiental más importante que controla el proceso de formación del bulbo en ajo, aunque pueden interactuar otros elementos (Wickramasinghe *et al.*, 2000; Rahim y Fordham, 2001).

### ***Tasa de asimilación neta (TAN)***

La tasa de asimilación neta (TAN) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  se muestra en el Cuadro 16. A los 30 y 60 dds se encontraron efectos individuales, pero no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados. En el caso de las densidades, para los 30 dds se establecieron diferencias altamente significativas entre ellas. En este sentido, la densidad de  $33,33 \text{ plantas.m}^{-2}$  presentó la mayor TAN con  $154,8 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ , seguido por 50 y  $100 \text{ plantas.m}^{-2}$  con 72,8 y  $48,7 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ , respectivamente. Para las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  no se encontraron diferencias significativas entre ellas, pero la mayor dosis ( $100 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) presentó una tendencia ligeramente alta con  $99,4 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ .

A los 60 dds, se establecieron diferencias significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> la mayor TAN con 249,1 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>; mientras que 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> fueron estadísticamente iguales con 155,3 y 109,3 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>, respectivamente. En el caso de las dosis de KNO<sub>3</sub>, la aplicación de 100 kg.ha<sup>-1</sup> obtuvo la mayor TAN con 197,3 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>, seguido por 50 y 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 164,6 y 151,9 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>.

Para los 90 dds se determinaron interacciones altamente significativas entre los dos factores analizados. La mejor combinación correspondió al tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> con una TAN de 410,3 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>; mientras que el valor más bajo (167,5 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>) se registró en el tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y la aplicación de 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub>. (Anexo 1).

Cuadro 16. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre la tasa de asimilación neta en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Tasa de asimilación neta (mg.cm <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	154,8 a	249,1 a	327,4 a
50	72,8 b	155,3 b	278,0 a
100	48,7 c	109,3 b	197,0 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	78,4 a	151,9 b	227,8 b
50	98,5 a	164,6 ab	269,1 a
100	99,4 a	197,3 a	305,5 a
Densd x Dosis	ns	ns	*
Xm	92,1	171,2	267,5
CV	30,37	20,95	13,06

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05.

En el Cuadro 16 se observa un incremento significativo de la TAN con el avance del ciclo del cultivo. Durante los primeros 30 dds la TAN presentó su mínimo valor (92,1 mg.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>) debido a que el área foliar era baja y la translocación de

fotosintatos fue lenta. La TAN depende de la eficiencia fotosintética y del área foliar y su duración (Stahlschmidt *et al.*, 1997).

A partir de los 60 dds la TAN tuvo un aumento progresivo con el tiempo de cultivo hasta alcanzar su valor máximo a los 90 dds ( $267,5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ), lo cual indicó una mejor eficiencia fotosintética y mayor translocación de materia seca desde las hojas hacia el bulbo. La TAN se considera un indicador de la eficiencia de las hojas para producir materia seca por unidad de área foliar, y es el componente fisiológico de la tasa de crecimiento relativo del cultivo (Stahlschmidt *et al.*, 1997). Estos resultados son parecidos a aquellos obtenidos por Ledezma *et al.* (1997) quien reportó una respuesta similar en la TAN de ajo `Rosado Paraguayo`.

En este ensayo se observó un incremento significativo de la TAN con la reducción en la densidad de siembra y un aumento en las dosis de  $\text{KNO}_3$ . Las plantas crecidas en las parcelas con bajas poblaciones y fertilizadas con mayores dosis registraron la mayor TAN en comparación con aquellas densamente pobladas y donde se aplicaron las menores dosis. En las primeras fases de crecimiento del cultivo el  $\text{KNO}_3$  se aprovechó menos, contrario al efecto luego de iniciado el bulbo (60 dds). En esta etapa, la mayor fotosíntesis neta por acción del balance con K estimuló el inicio de la bulbificación y el transporte equilibrado de carbohidratos hacia el bulbo, debido a que en la fisiología del crecimiento de este órgano se establece una marcada competencia por los asimilados entre el estado vegetativo y el llenado del bulbo (Singh *et al.*, 2001).

En esta investigación, a los 60 dds comenzó el aprovechamiento del  $\text{KNO}_3$  ya que el bulbo estaba en pleno crecimiento. En esta fase de crecimiento, el bulbo acapara la mayor translocación de K hacia el órgano de reserva. Entonces, el crecimiento y desarrollo del bulbo depende del transporte de nuevos fotosintatos producidos desde el sitio de síntesis (fuente) hacia el lugar de sumidero o almacenaje. Al respecto Mengel y Kirkby (2001) han reportado en otras especies que el K incrementa el IAF y el contenido de clorofila, por lo que sugieren un efecto positivo sobre el mecanismo de carga del floema y probablemente en la movilización de fotoasimilados.

### *Coefficiente de partición (CP)*

El coeficiente de partición (CP) durante el crecimiento del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> se presenta en el Cuadro 17. A los 30, 60 y 90 dds no se detectaron efectos individuales ni interacciones significativas entre los dos factores analizados. Para los 30 dds la mayor densidad (100 plantas.m<sup>-2</sup>) y la menor dosis (25 kg.ha<sup>-1</sup>) presentaron la tendencia más alta con valores de 0,24 y 0,22, respectivamente.

A los 60 dds, las 3 densidades y las 3 dosis utilizadas resultaron estadísticamente iguales, aunque la población de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y la dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> tuvieron la tendencia más alta con 0,98 y 0,96, respectivamente. Esta misma respuesta se observó para los 90 dds, con 3,99 y 3,83, respectivamente.

Cuadro 17. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el coeficiente de partición en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Coeficiente de Partición		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	0,22 a	0,92 a	3,88 a
50	0,22 a	0,93 a	3,85 a
100	0,24 a	0,98 a	3,99 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	0,24 a	0,93 a	3,66 a
50	0,21 a	0,94 a	3,24 a
100	0,22 a	0,96 a	3,83 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Xm	0,22	0,94	3,91
CV	22,32	32,36	14,17

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos reflejados en el Cuadro 17 se puede notar que en las primeras etapas del ciclo del cultivo, el CP es muy bajo porque la planta se encontraba creciendo vegetativamente y la partición de asimilados es casi nula. Arguello *et al.*

(2006) señalaron que en ajo los fotoasimilados varían sus contenidos en las distintas partes de la planta durante la evolución del cultivo.

A partir de los 60 dds el CP mostró un aumento progresivo con el tiempo de cultivo avanzando vertiginosamente hasta los 90 dds donde registró su valor máximo (3,91), esto implicó una translocación más rápida de fotosintatos hacia el órgano de almacenaje en esta etapa de la planta. El CP permitió determinar el momento en que se inició el traslado de fotoasimilados al bulbo y a partir del cual comenzó el período de llenado del mismo, esto fue fundamental en la incidencia del rendimiento del cultivo.

En las condiciones de este ensayo, el cambio estimado para el comienzo de la partición de materia seca hacia el bulbo se ubicó con un CP de 0,94 (60 dds) el cual es un poco más alto al CP reportado previamente para ajo por Nuñez *et al.* (1997), quienes determinaron un CP = 0,75 para esa fase del cultivo. Cuando el CP alcanzó valores promedio de 3,9 las plantas de ajo estaban en el máximo de su bulbificación y del crecimiento de sus hojas, evidenciado por el aumento en la materia seca tanto del bulbo como del follaje. Una respuesta similar para el coeficiente de partición fue reportada por Ledezma *et al.* (1997) con un CP = 4,0.

A pesar del aumento significativo del CP hacia los 90 dds, no se observó una respuesta diferencial entre los tratamientos, es decir, los dos factores evaluados no tuvieron efecto sobre el coeficiente de partición, aunque se evidenció una relativa mayor acumulación de fotoasimilados desde el tejido foliar hacia el bulbo.

Resultados diferentes fueron reportados por Ramírez (2001) para cebolla quien determinó un CP mínimo de 0,25 y máximo de 5,42, registrando los valores más altos con las densidades más bajas.

### ***Ritmo de crecimiento (RC)***

El ritmo de crecimiento (RC) del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades y fertilizado con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> se presenta en el Cuadro 18. A los 30 y 60 dds se encontraron efectos individuales, pero no hubo interacciones significativas entre los dos factores analizados. Para los 30 dds, la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> presentó el

mayor RC con 40,9 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, seguido por 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 26,0 y 17,3 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> todas resultaron estadísticamente iguales, aunque la aplicación de 100 kg.ha<sup>-1</sup> tuvo la tendencia más alta con 29,4 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>. A los 60 dds, se establecieron diferencias significativas para las 3 densidades, correspondiendo a 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> el mayor RC con 142,5 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>; mientras que 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> fueron estadísticamente iguales con 77,3 y 52,0 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. En el caso de las 3 dosis de KNO<sub>3</sub> también se detectaron diferencias significativas, siendo la mayor dosis (100 kg.ha<sup>-1</sup>) donde se presentó la tendencia más alta con 105,9 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, seguido de 50 y 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 90,3 y 75,7 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para los 90 dds, se detectaron interacciones altamente significativas entre los dos factores evaluados. La combinación de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> resultó el mejor tratamiento con un RC de 445,7 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>, seguido por 50 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 50 kg.ha<sup>-1</sup> para un RC de 312,0 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup> y finalmente el tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 146 mg.día<sup>-1</sup>.planta<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Cuadro 18. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO<sub>3</sub> sobre el ritmo de crecimiento (RC) en ajo criollo morado.

TRATAMIENTOS	Ritmo de crecimiento (mg.día <sup>-1</sup> .planta <sup>-1</sup> )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	40,9 a	142,5 a	347,6 a
50	26,0 b	77,3 b	272,5 a
100	17,3 c	52,0 b	175,7 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	25,9 a	75,7 b	220,3 c
50	28,8 a	90,3 ab	264,7 b
100	29,4 a	105,9 a	310,8 a
Densd x Dosis	ns	ns	*
Xm	28,1	90,6	265,3
CV	22,0	21,35	13,09

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En el ritmo de crecimiento (RC) se observó una tendencia similar a la tasa de asimilación neta, es decir, un incremento significativo del RC con al aumento en la densidad de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , con excepción de los 30 dds. Las plantas crecidas en las parcelas con bajas poblaciones y fertilizadas con las mayores dosis registraron el mayor RC ya que por una parte, la menor competencia por agua, luz y nutrientes permitió el desarrollo de un mayor aparato fotosintético y mejor eficiencia para la fotosíntesis, por la otra el mayor aprovechamiento del  $\text{KNO}_3$  promovió el inicio de la formación del bulbo y la translocación de carbohidratos al mismo, un efecto de menor proporción ocurrió en las parcelas de poblaciones más densas y donde se aplicaron las menores dosis.

En el Cuadro 18 se puede notar que el RC no presentó incrementos significativos durante los primeros 30 dds como consecuencia del crecimiento sólo vegetativo de la planta durante los primeros 30 dds y esto se corresponde con los bajos valores en la tasa de asimilación neta (TAN) e índice de área foliar (IAF) encontrados para esta fecha de muestreo.

A partir de los 60 dds el RC se incrementa en forma significativa con el inicio de la bulbificación hasta alcanzar su valor máximo a los 90 dds ( $265,3 \text{ mg.día}^{-1}.\text{planta}^{-1}$ ) durante el período de llenado del bulbo, al final disminuye ligeramente hacia la madurez (datos no mostrados). El incremento en el ritmo de crecimiento en los períodos señalados coincide con los aumentos determinados tanto en la TAN como en el IAF, lo que indica una mayor capacidad fotosintética en esta fase del cultivo. Además, esto puede ser corroborado por el índice de bulbificación (0,19) y el coeficiente de partición (3,91).

La caída en el RC en la madurez o cosecha pudiera explicarse por el hábito de crecimiento característico del ajo, que implica la senescencia de las hojas y el eventual cierre del cuello. Comportamientos similares en el ritmo de crecimiento han sido observados en cebolla por Brewster *et al.* (1986) y Ramírez (2001), y en ajo por Ledezma *et al.* (1997).

### ***Diámetro ecuatorial del bulbo (DE) vs radiación fotosintéticamente activa (RFA)***

Para la relación entre el DE y la RFA se determinaron correlaciones altamente significativas (Cuadro 19). Para los 30, 60 y 90 dds se estableció una correlación positiva con coeficientes de 0,4503; 0,4769 y 0,7957, respectivamente.

En la Figura 4 se puede observar que la velocidad de crecimiento del DE inicialmente fue lento con respecto a la RFA debido a que en esta etapa la planta se encontraba en pleno crecimiento vegetativo, no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos, pero a partir de los 60 dds el DE se incrementa proporcionalmente a la RFA porque ha comenzado el proceso de formación del bulbo hasta alcanzar un diámetro máximo de 4,26 cm con una RFA de  $1593,11\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  al final del período de bulbificación del cultivo. En esta etapa se notan claramente las respuestas diferenciales entre los tratamientos.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y el diámetro ecuatorial del bulbo (cm) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de la siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	0,4503	**
60	0,4769	**
90	0,7957	**

(Pearson < 0,05)

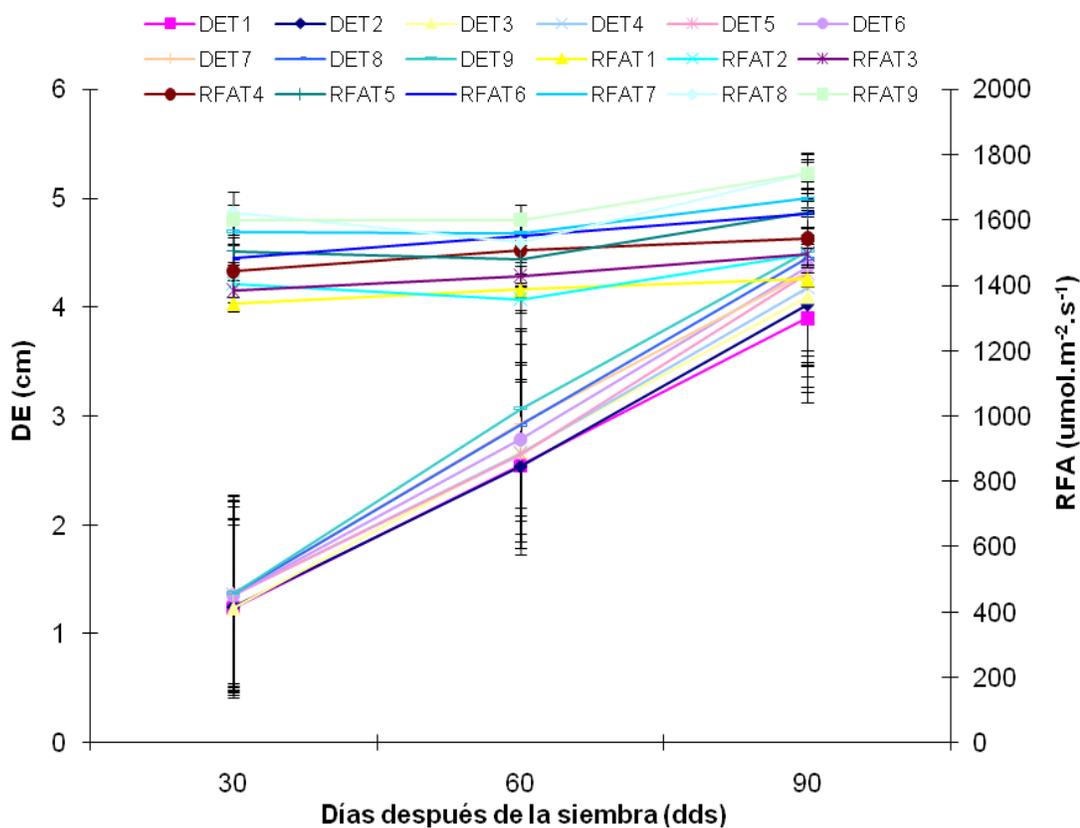


Figura 4. Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

En estos resultados se evidencia la estrecha relación entre el DE y la RFA, ya se ha reportado que la producción de biomasa depende de la eficiencia fotosintética de la planta y esta obedece a la capacidad para captar luz solar (Plénet *et al.*, 2000). En otros estudios en ajo se demostró una disminución en el inicio y el desarrollo del bulbo debido a bajas condiciones de luz (Rahim y Fordham, 2001).

### ***Coefficiente de partición (CP) vs índice relativo de clorofila (IRC)***

Para la relación entre el CP y el IRC no se determinaron correlaciones significativas para ninguna de las fechas de muestreo, los coeficientes de correlación fueron: 0,0959; 0,0038 y -0,1598, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra, respectivamente (Cuadro 20). En este caso no se evidenció relación alguna entre estas dos variables; sin embargo, se puede notar que al final del ciclo del cultivo la relación es inversamente proporcional entre ellas, es decir el IRC declina debido posiblemente a la senescencia de las hojas aunque la planta continua con la distribución de los asimilados elaborados previamente.

En la Figura 5 se observa que a los 30 dds con un IRC entre 64 y 70 el CP se mantuvo con valores bajos y un comportamiento muy similar entre los tratamientos aplicados. A partir de los 60 dds con un IRC entre 68 y 78 la velocidad de repartición de asimilados por unidad de clorofila sintetizada se incrementó proporcionalmente observándose respuestas diferenciales entre los tratamientos. La producción de hojas luego de iniciada la formación del bulbo se considera el proceso central para su desarrollo, por lo tanto ellas son la clave para la suplencia de los fotoasimilados necesarios para la expansión del bulbo (Ramírez, 2001).

Cuadro 20. Coeficientes de correlación entre el índice relativo de clorofila (IRC) y el coeficiente de partición (CP) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de la siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	0,0959	ns
60	0,0038	ns
90	-0,1598	ns

(Pearson < 0,05)

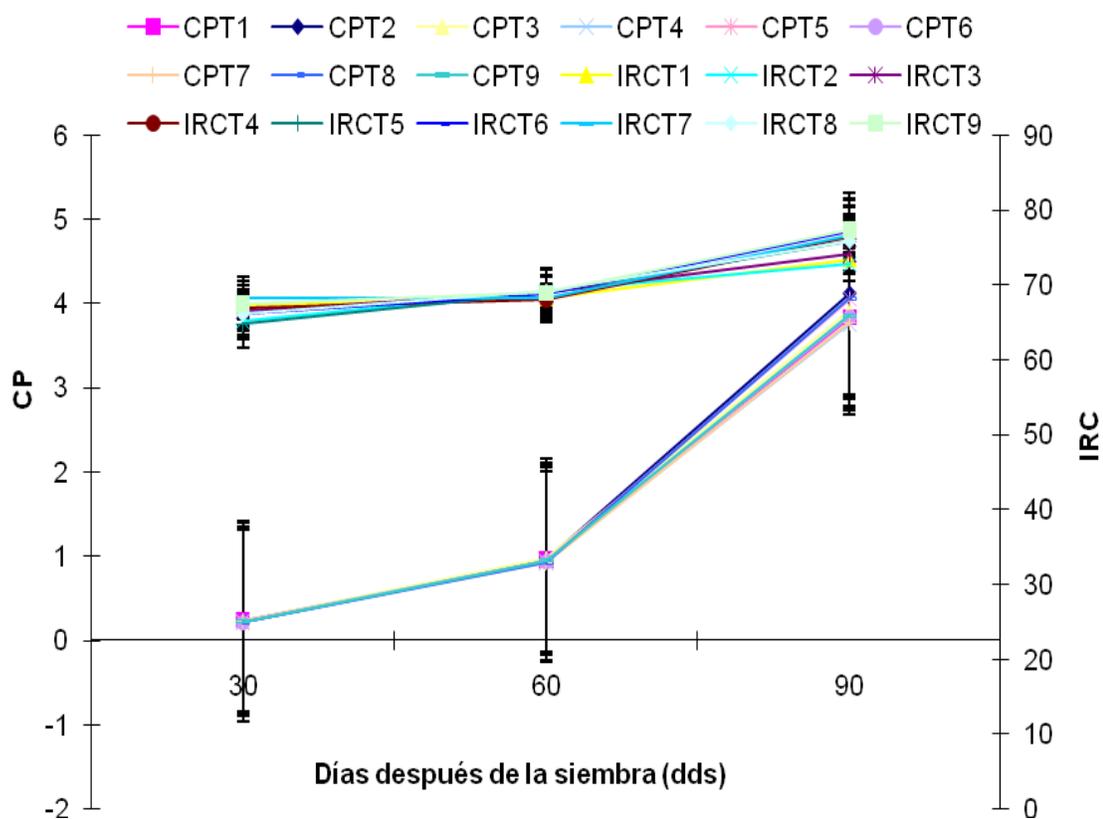


Figura 5. Correlación entre el índice relativo de clorofila (IRC) y el coeficiente de partición (CP) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

### ***Ritmo de crecimiento (RC) vs número de hojas (NH)***

Para la relación entre el RC y NH no se determinaron correlaciones significativas a los 30 dds, pero si para los 60 y 90 dds donde se estableció una correlación positiva con coeficientes de correlación de 0,6079 y 0,6054, respectivamente (Cuadro 21).

En la Figura 6 se puede observar que durante los primeros 30 días la velocidad de crecimiento fue lenta e inversamente proporcional al número de hojas (coeficiente igual a -0,0201), mientras que después de los 60 días el ritmo de crecimiento se acelera debido a que aumenta la formación de hojas y consecuentemente se incrementan tanto la tasa de asimilación neta como el índice de área foliar, manteniéndose este ritmo constante hasta el final del período de crecimiento del cultivo (90 dds). Stahlschmidt *et al.* (1997) establecieron una estrecha relación entre el crecimiento vegetativo y el ritmo de crecimiento en ajo, indicando que este último representa la eficiencia en la acumulación de materia seca en un período determinado.

Cuadro 21. Coeficientes de correlación entre el ritmo de crecimiento (RC) y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de La siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	-0,0201	ns
60	0,6079	**
90	0,6054	**

(Pearson < 0,05)

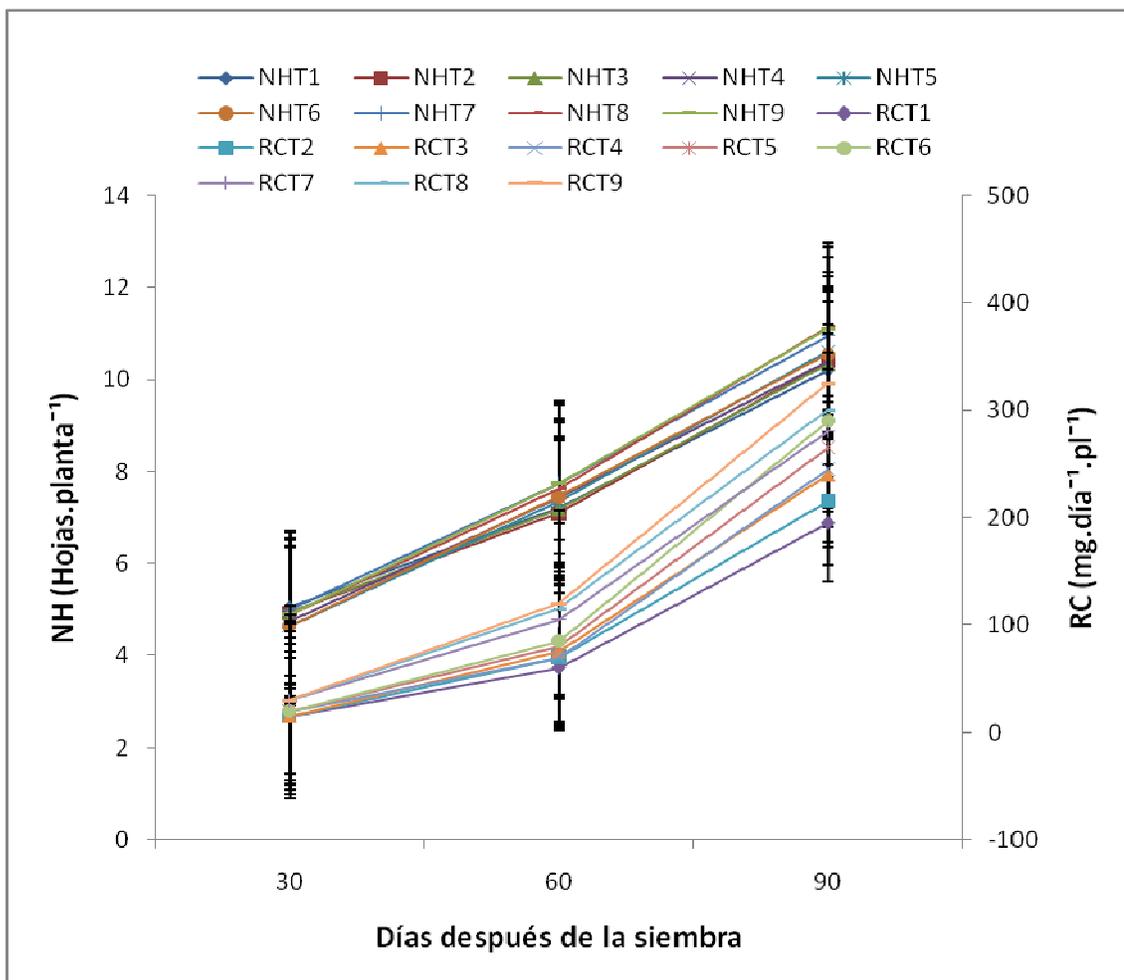


Figura 6. Correlación entre el ritmo de crecimiento (RC) y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

## ***Rendimiento***

El efecto de las densidades de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el rendimiento del cultivo de ajo se presenta en el Cuadro 22. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra determinando el rendimiento por planta, parcela y hectárea. En cuanto al rendimiento por planta hubo interacción significativa entre los factores analizados, correspondiendo a 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y la aplicación de 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  el mayor valor con 31,14  $\text{g}.\text{planta}^{-1}$ , seguido por 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con 27  $\text{g}.\text{planta}^{-1}$ , y finalmente se ubicó 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 50  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  con 25,4  $\text{g}.\text{planta}^{-1}$ . (Anexo 1).

Para el rendimiento en las parcelas y por hectárea ( $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ), se encontraron efectos individuales para las densidades pero no para las dosis, en ambos casos no se determinaron interacciones significativas para los dos factores analizados. Tanto el rendimiento por parcela ( $\text{kg}.\text{m}^{-2}$ ) como el rendimiento por hectárea ( $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ) fueron afectados significativamente por la densidad de siembra notándose una respuesta diferencial entre los tratamientos. En las parcelas de mayor densidad (100 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) se registraron los rendimientos más altos con 3,37  $\text{kg}.\text{m}^{-2}$  y consecuentemente 16899  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  para 1000000 plantas. $\text{ha}^{-1}$ ; mientras en aquellas de menor densidad (33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ) se alcanzaron los rendimientos más bajos con 1,85  $\text{kg}.\text{m}^{-2}$  y por consiguiente 9290  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ .

Cuadro 22. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el rendimiento por planta ( $\text{R.planta}^{-1}$ ), rendimiento por parcela ( $\text{R.Parcela}^{-1}$ ), rendimiento por  $\text{ha}^{-1}$  ( $\text{R.ha}^{-1}$ ) en ajo criollo morado al momento de cosecha.

TRATAMIENTO	$\text{R.planta}^{-1}$ ( $\text{g.planta}^{-1}$ )	$\text{R.Parcela}^{-1}$ ( $\text{kg.m}^{-2}$ )	$\text{R.ha}^{-1}$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )			
33,33	27,88 a	1,85 c	9290 c
50	22,62 b	2,26 b	11312 b
100	16,89 c	3,37 a	16899 a
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )			
25	21,13 b	2,35 a	11751 a
50	22,21 ab	2,53 a	12662 a
100	24,05 a	2,61 a	13088 a
Densd x Dosis	*	ns	ns
Xm	22,46	2,5	12500
CV	9,94	11,20	11,21

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En la Figura 7 se observa que con el aumento en la densidad de siembra, el rendimiento total se eleva significativamente con un incremento sostenido desde los 30 hasta 90 dds, esta respuesta se debe por una parte, al desarrollo progresivo de la planta, y por otro lado al mejor aprovechamiento del espacio físico, porque se colocó un mayor número de plantas por unidad de superficie. Al final del ciclo del cultivo (120 dds), el rendimiento disminuye debido a la pérdida de masa fresca en el bulbo por efecto del curado en el campo.

Los mayores rendimientos en este ensayo pueden ser atribuidos a un mejor arreglo geométrico de la plantación en las camas, en las cuales las plantas estuvieron en igualdad de competencia por luz, agua y nutrientes provocando un mayor desarrollo, de esta manera el índice de área foliar es maximizado proporcionando a las plantas mayor capacidad para captar luz, como consecuencia se produjo mayor eficiencia en el proceso fotosintético y en la translocación de asimilados hacia el bulbo provocando mayor acumulación de masa fresca.

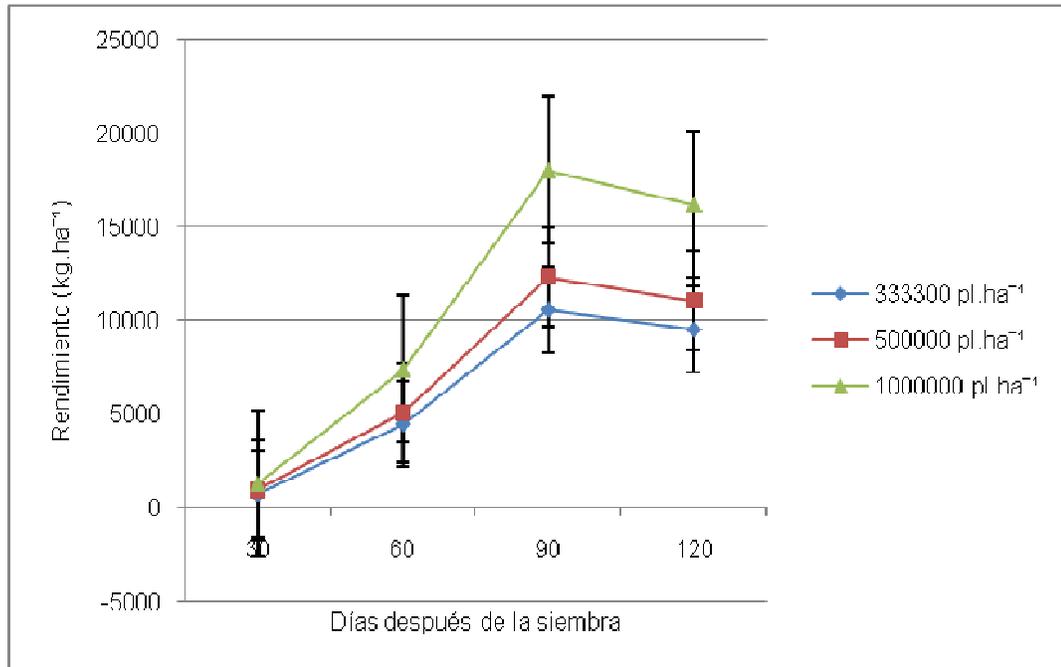


Figura 7. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) en ajo criollo morado a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.

Estos resultados coinciden con otros investigadores donde se reporta que el rendimiento y el tamaño del bulbo en ajo son afectados por la densidad de población (Hossain *et al.*, 2003; Castellanos *et al.*, 2004; Karaye y Yakubu, 2006). Sin embargo, se han reportado rendimientos mucho más bajos que los encontrados en este estudio, aún utilizando poblaciones similares. Al respecto, Gaviola y Lipinski (2004) lograron 12 t.ha<sup>-1</sup> con 400000 plantas.ha<sup>-1</sup>.

La variación en el rendimiento en especies de *Allium* bajo diferentes densidades de siembra ha sido documentada por diferentes autores. En este sentido, Ngouajio *et al.* (2008) indicaron que el tamaño del bulbo fue el componente del rendimiento mayormente afectado por la densidad de siembra en cebolla, a medida que la población se incrementó la proporción de bulbos pequeños también se aumentó.

En este ensayo los resultados concuerdan con otros obtenidos para cebolla en campo, donde el rendimiento y el grado del bulbo fueron altamente afectados por la población de siembra, el volumen por unidad de superficie se incrementó, pero el diámetro del bulbo disminuyó considerablemente (Shock *et al.*, 2004).

De igual manera, Saleem (2004) reportó mayores rendimientos en cebolla en las parcelas medianamente pobladas (40 plantas.m<sup>-2</sup>), mientras que el más bajo fue alcanzado en las parcelas de menos población (30 plantas.m<sup>-2</sup>). No obstante, Dale y Schumann (2005) no encontraron efecto de la densidad de siembra sobre la masa fresca de *Allium tricoccum*.

Los resultados de esta investigación son comparables a aquellos encontrados en otros cultivos, en los cuales se establecieron los mayores rendimientos con el incremento de las densidades, tales como pimentón (*Capsicum annum*) (Dazgan y Abak, 2003), tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo invernadero (Cruz *et al.*, 2003), fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Pérez *et al.*, 2005), espárrago (*Asparagus officianalis*) (Castagnino *et al.*, 2006), espárrago silvestre (*Asparagus acutifolius*) (Benincasa y Tei, 2007), zanahoria (Smolén y Sady, 2009).

Por otra parte, en este estudio las diferentes dosis de KNO<sub>3</sub> no afectaron significativamente el rendimiento de ajo al momento de la cosecha, tanto en kg.m<sup>-2</sup> como en kg.ha<sup>-1</sup>. Todas las dosis resultaron estadísticamente iguales, aunque la mayor dosis presentó la tendencia más alta con 2,61 kg.m<sup>-2</sup> y 13088 kg.ha<sup>-1</sup> (Cuadro 18). Desde el punto de vista de los costos de producción este hallazgo es muy importante, ya que con la aplicación de menores dosis a las utilizadas habitualmente por los productores se pueden obtener iguales rendimientos para esta zona donde se realizó el estudio.

Resultados similares fueron encontrados por Shock *et al.* (2005) en cebolla, donde el rendimiento y el calibre del bulbo no fueron afectados por la dosis de N ni por la interacción de este con la densidad de plantas.

Existen algunos factores que pudieran explicar esta respuesta. Entre éstos se encuentran la disponibilidad de K en el suelo, humedad del suelo y en especial la especie vegetal en estudio (Ariyama *et al.*, 2006). El K se encuentra mayormente en la vacuola y la cantidad requerida para los procesos metabólicos necesarios para un

óptimo crecimiento y desarrollo es pequeña (Bertsch, 2003). De acuerdo con Leigh (2001), el crecimiento disminuye cuando la concentración de K en la vacuola alcanza un mínimo de 10 a 20 mM ya que en este nivel el K no puede ser utilizado para mantener el K citosólico.

Por otro lado, se ha señalado que el K y el  $\text{NH}_4^+$  pueden compartir un sistema común de transporte (Wang *et al.*, 1996), lo que pudiera provocar variaciones en la asimilación del K por las plantas de ajo. Asimismo, el movimiento de K en el suelo depende de la textura, en este ensayo se utilizó un suelo franco arenoso (FA) en el cual probablemente el K estuvo bastante móvil quedando fuera de la zona radicular, como consecuencia se presentó una baja disponibilidad del mismo. Además, la zona se caracteriza por los altos niveles de lluvias y el exceso de agua en el perfil del suelo puede bajar los niveles de oxígeno, reduciendo la respiración de la planta y disminuyendo la absorción de K (Al-Karaki, 2000).

No obstante, estos resultados difieren a los reportes de otros investigadores como Gaviola y Lipinski (2004, 2008) donde determinaron para el primer caso rendimiento de  $13 \text{ t.ha}^{-1}$  para ajo blanco y en el segundo estudio lograron  $11,33 \text{ t.ha}^{-1}$  para 5 cultivares de ajo rosado, utilizando fertilizaciones basadas en fertilizantes nitrogenados. De igual manera, el aumento en los rendimientos en cebolla ha sido reportado con incrementos en los niveles de K por Bybordi y Malakouti (2003), Saleem (2004), El-Desuki *et al.* (2006); y con elevadas dosis de NPK por Sharma *et al.* (2003) y Boyhan *et al.* (2007).

### ***Rendimiento vs radiación fotosintéticamente activa (RFA)***

El rendimiento y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) presentaron una correlación altamente significativa. A los 30, 60, 90 y 120 dds se estableció una correlación positiva con coeficientes de determinación de 0,4692; 0,6323; 0,8124 y 0,7206, respectivamente (Cuadro 23). En la Figura 8 se puede observar que el aumento del rendimiento fue proporcional a la RFA. A los 30 dds con una RFA promedio de  $1482,6 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  se alcanzó un rendimiento de  $1,76 \text{ g.planta}^{-1}$ , en este momento la correlación es baja debido a que en esta etapa la planta se encuentra en

pleno crecimiento vegetativo y la formación del bulbo prácticamente no ha ocurrido, efecto llamado por los productores como “cabeza de lagartija”.

A partir de los 60 dds el rendimiento se acelera a una tasa constante elevando la correlación porque aquí se ha iniciado el proceso de bulbificación en la planta de ajo, manteniéndose a un ritmo sostenido hasta llegar a un rendimiento máximo de  $24,81 \text{ g.planta}^{-1}$  con una RFA de  $1593,11 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en la etapa de llenado del bulbo (90 dds), notándose una respuesta diferencial entre los tratamientos, al final del período de crecimiento del cultivo (cosecha, 120 dds) el rendimiento tiene una pequeña caída debido al curado de los bulbos en el campo, período en el cual se produce una pequeña pérdida de masa fresca (Brewster, 2001).

Rahim y Fordham (2001) reportaron que la formación del bulbo y el rendimiento en ajo fueron promovidos por fotoperíodos de 12 horas (condiciones similares a este estudio), en los cuales el régimen de temperaturas diurnas y nocturnas se mantuvo alrededor de  $20/15 \text{ }^\circ\text{C}$  y las condiciones de luz fueron superiores a  $1300 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  lo que retraso la madurez del bulbo resultando en mayores rendimientos.

Cuadro 23. Coeficientes de correlación entre la radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y el rendimiento ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.

Días después de la siembra	$R^2$	Significancia
30	0,4692	**
60	0,6323	**
90	0,8124	**
120	0,7206	**

(Pearson < 0,05)

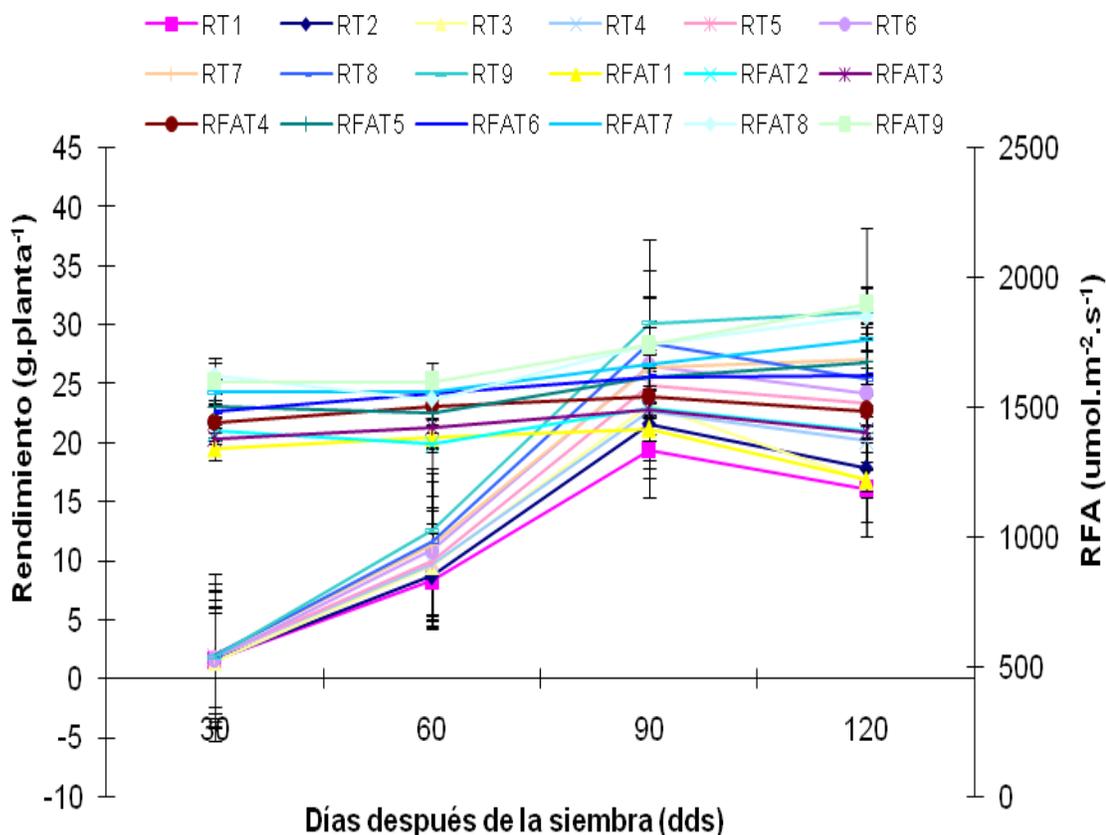


Figura 8. Correlación entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y el rendimiento (R) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

### ***Rendimiento vs índice de área foliar (IAF)***

El rendimiento y el IAF presentaron una correlación altamente significativa para los 60, 90 y 120 dds, pero no a los 30 dds. En las primeras dos fechas de muestreo señaladas, se estableció una correlación positiva con coeficientes de correlación igual a 0,6028 y 0,8458, respectivamente (Cuadro 24).

En la Figura 9 se puede observar que a los 30 dds la correlación fue negativa (-0,2748) y no existe una respuesta diferencial entre los tratamientos porque el cultivo se encuentra en etapa vegetativa correspondiendo más al desarrollo de follaje que bulbo, pero a partir de los 60 dds el aumento del rendimiento fue proporcional al IAF debido a que se ha iniciado el proceso de bulbificación en la planta; mientras que a los 90 dds se alcanzó un rendimiento de 24,81 g.planta<sup>-1</sup> con un índice máximo de 0,97 lo cual correspondió a la etapa de llenado del bulbo.

Finalmente se observó un comportamiento diferencial entre los tratamientos al término del ciclo (120 dds), en este momento del cultivo las dos variables disminuyen atribuido a cambios en el índice de área foliar lo que a su vez se asocia con la senescencia de las hojas para esa etapa y a la disminución de la masa fresca del bulbo por efecto del curado en campo.

Estos resultados corroboran que existe una relación estrecha entre el rendimiento y el IAF, en estudios previos Rahim y Fordham (2001) encontraron una disminución en los rendimientos en ajo debido a una reducción en el crecimiento de las hojas lo que provocó un desarrollo y una madurez temprana del bulbo.

Cuadro 24. Coeficientes de correlación entre el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento (g.planta<sup>-1</sup>) a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.

Días después de la siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	-0,2748	ns
60	0,6028	**
90	0,8458	**
120	0,5066	**

(Pearson < 0,05)

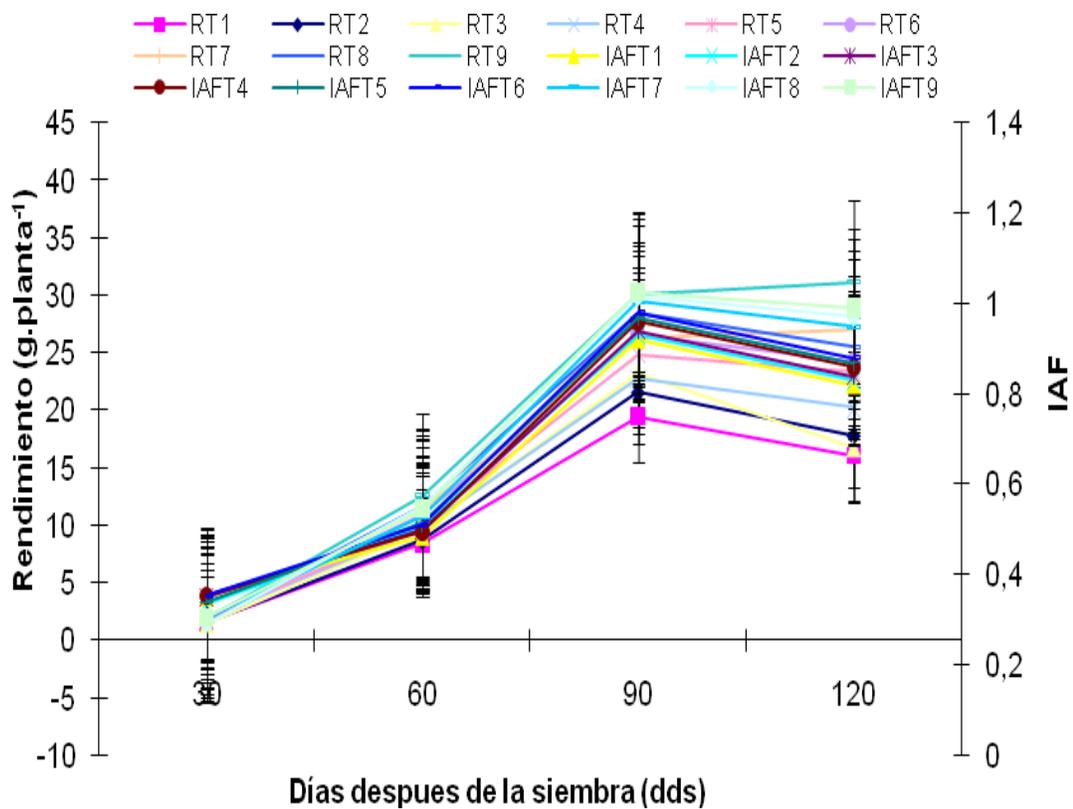


Figura 9. Correlación entre la el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento (R) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

### ***Contenido de NPK en la hoja***

Para el contenido de N en las hojas, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds) se determinaron interacciones altamente significativas entre las densidades de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$  (Cuadro 25 y Figura 10).

En todos los tratamientos la concentración de N en las hojas alcanzó mayores niveles a los 30 dds pero no a los 60 dds, correspondiendo el mejor tratamiento a la combinación de 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  con la dosis de 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  (3,89% de N) y el menor tratamiento (2,48% de N) a la combinación de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 50  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ; mientras que a los 60 dds el mejor tratamiento fue 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  (3,97% de N) y la menor concentración (2,05% de N) se alcanzó con 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 50  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ . Para los 90 dds, el mejor tratamiento fue 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  alcanzando una concentración de 3,7 % de N, y el menor nivel (2,5% de N) se registró con la combinación de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ . (Anexo 1).

Estos resultados indican que la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  afectó positivamente el nivel de N en el tejido foliar de las plantas. La tendencia al incremento en la concentración de N en las hojas durante el crecimiento inicial de la planta también podría atribuirse a la aplicación de fertipollo durante las primeras etapas del cultivo, y la fuente orgánica se caracteriza por liberar los nutrientes de manera lenta y progresiva (Havlin *et al.*, 1999). La concentración de N determinada en las hojas de este ensayo está por encima de los rangos de 1,9 % y 2,3% reportada para ajo y asociada con el máximo rendimiento (Rosen y Tong, 2001), lo que pudiera indicar que no hubo deficiencias nutricionales para el nitrógeno.



Estos datos coinciden parcialmente con otros reportados por Escalona y Pire (2008) para pimentón, quienes detectaron una tendencia al aumento en los niveles de N en el tejido foliar durante la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo. Del mismo modo, Boyhan *et al.* (2007) observaron un efecto cuadrático en los niveles de N que osciló en las hojas de cebolla entre 18,2 y 36,3 mg.g<sup>-1</sup> con tasas de fertilización nitrogenada de 0 a 336 kg.ha<sup>-1</sup>. De igual manera, los resultados concuerdan con otros reportados por Russo (2009) para cebolla bajo invernadero.

Por otro lado, para el contenido de P en las hojas, se determinaron interacciones altamente significativas entre las densidades de siembra y las dosis de KNO<sub>3</sub> para los 30 y 60 dds pero no a los 90 dds (Cuadro 25; Figura 10). El contenido de P en el tejido foliar también aumentó con la combinación de todos los tratamientos para los 60 dds, pero no para 90 dds.

A los 30 dds, el mejor tratamiento correspondió a la combinación de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> con la dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup> registrando una concentración de 0,93% de P y la menor concentración (0,61% de P) se alcanzó con la combinación de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 50 kg.ha<sup>-1</sup>. A los 60 dds el mejor tratamiento fue 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 25 kg.ha<sup>-1</sup> con un valor de 1,1% de P y la menor concentración (0,5% de P) se registró con 50 plantas.m<sup>-2</sup> y 50 kg.ha<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

A los 90 dds, se determinaron efectos significativos para densidades y para las dosis de KNO<sub>3</sub>. En las densidades los tratamientos fue 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup> resultaron estadísticamente iguales 0,53 y 0,52 %, respectivamente, luego se ubicó el tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 0,40 % de P. En las dosis de KNO<sub>3</sub> el mejor tratamiento fue 100 kg.ha<sup>-1</sup> con 0,53 % de P, seguido de 25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup> los cuales resultaron estadísticamente iguales con 0,45 y 0,47 % de P, respectivamente.

Los altos niveles de fósforo durante las primeras fases de desarrollo del cultivo están asociados con los mayores requerimientos de este elemento para el enraizamiento de las plantas, por lo tanto se evidenció un mejor aprovechamiento del mismo. Por el contrario, los bajos niveles de P a los 90 dds pudieren indicar que los tratamientos con KNO<sub>3</sub> afectaron la concentración mineral en las plantas manteniéndose el P a niveles inferiores. El mecanismo por el cual el K reduce los niveles de P en el tejido no está aún claro; sin embargo, es posible que por su alta

movilidad compitan en su disponibilidad y absorción por los tejidos de la raíz (Barbier-Brygoo *et al.*, 2000). Esto confirma los resultados observados por Randle (2005) en cebolla bajo invernadero en el cual se demostró que el aumento en la fertilización con K resultó en una disminución en la concentración de P total; de igual manera aquellos obtenidos por Baghour *et al.* (2001) para pimentón, reportando una reducción en P orgánico, inorgánico y total en las hojas.

Considerando que el ajo es un cultivo de ciclo más largo que la cebolla, se requiere un buen contenido de P en las hojas para suplir las demandas de la planta especialmente durante la etapa de bulbificación, es común que los niveles de P declinen a partir del inicio de crecimiento del bulbo hasta su llenado (Rosen y Tong, 2001). En esta investigación la concentración de P disminuyó de 0,8 % durante el crecimiento vegetativo hasta 0,4 % en el llenado del bulbo, lo cual coincide con Castellanos *et al.* (2001) quienes determinaron que el contenido de P en el tejido foliar de ajo disminuyó de 0,4 % en la etapa vegetativa a 0,20 % durante la bulbificación.

Por otro lado, se ha reportado que el contenido de P en la hoja madura más joven de *Allium* varía entre 0,3 y 0,6 % (Castellanos *et al.*, 2001; Russo, 2009). Sin embargo, en este ensayo las concentraciones de P fueron mayores hasta los 60 dds y luego se mantuvo entre los niveles indicados al final del ciclo del cultivo sugiriendo que las plantas de ajo no estuvieron bajo deficiencia de este elemento durante el experimento.

Para la concentración de K en las hojas, en las 3 fechas de muestreo se determinaron interacciones altamente significativas entre las densidades de siembra y las dosis de KNO<sub>3</sub> (Cuadro 25; Figura 10). El contenido de K en el tejido foliar se incrementó desde los 30 dds hasta los 90 dds con la combinación de todos los tratamientos aplicados.

A los 30 dds, el mejor tratamiento correspondió a la combinación de 100 plantas.m<sup>-2</sup> con la dosis de 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 2,17% de K y el menor nivel (1,63% de K) se registró con la combinación de 50 plantas.m<sup>-2</sup> con 50 kg.ha<sup>-1</sup>. A los 60 dds el mejor tratamiento fue 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 25 kg.ha<sup>-1</sup> con un valor de 2,97% de K y la menor concentración (2,63% de K) se alcanzó con 50 plantas.m<sup>-2</sup> y 50 kg.ha<sup>-1</sup>. Para los 90

dds, el mejor tratamiento fue 50 plantas.m<sup>-2</sup> con 50 kg.ha<sup>-1</sup> alcanzando una concentración de 3,8 % de K, y el menor nivel (2,5% de K) se presentó con la combinación de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y 25 kg.ha<sup>-1</sup>. (Anexo 1)

El incremento en la absorción de KNO<sub>3</sub> durante los primeros 30 días del cultivo pudiera desplazar el rol del K en su función osmótica (Xu *et al.*, 2002), y podría explicar por qué la más alta concentración de N en la hoja de las plantas de ajo en el primer muestreo; mientras que en los muestreos siguientes (60 y 90 dds) ambos elementos se mantuvieron en niveles equilibrados. Estos hechos se corresponden en el bulbo con la etapa morfogénica durante la cual la actividad meristemática es alta convirtiéndose en un fuerte polo de atracción de nutrientes, especialmente K (Arguello *et al.*, 2006).

Los contenidos de N y K presentaron tendencias de incrementos similares a sus respectivas materias secas tanto en follaje como en el bulbo, lo que corrobora los resultados obtenidos por Arguello *et al.* (1997). Asimismo, estos datos coinciden parcialmente con Russo (2009) quienes registraron concentraciones de 679,9 µg.g<sup>-1</sup> de K en cebolla, de igual manera Boyhan *et al.* (2007) detectaron un efecto en las concentraciones de P y K, presentándose un aumento de estos elementos en el tejido a medida que se elevó la dosis de K.

Lin y Yeh (2008) determinaron que el nivel de K en las hojas de *Guzmania spp* se incrementó con el aumento de K en la solución nutritiva y ese nivel fue mayor en las hojas más jóvenes que en aquellas más viejas. Sin embargo, durante este ensayo el aumento en las dosis de KNO<sub>3</sub> no reportó incrementos en los niveles del K en el tejido foliar de ajo. Aunque no se determinó el nivel de K en las hojas viejas, las hojas jóvenes en todas las plantas de ajo aparecieron sin síntomas de deficiencias visibles, lo que demuestra claramente que el K es altamente móvil trasladándose hasta estos tejidos, similar a otras monocotiledóneas.

Las hojas jóvenes maduras utilizadas para los muestreos fueron un buen indicador del nivel de K, constituyendo además un importante reservorio de este nutriente para la planta. Además, la respuesta positiva del KNO<sub>3</sub> en ajo se corrobora con el incremento en la concentración del K en el tejido foliar durante el tiempo de cultivo, lo cual indica una eficiencia en la fuente de K utilizada.

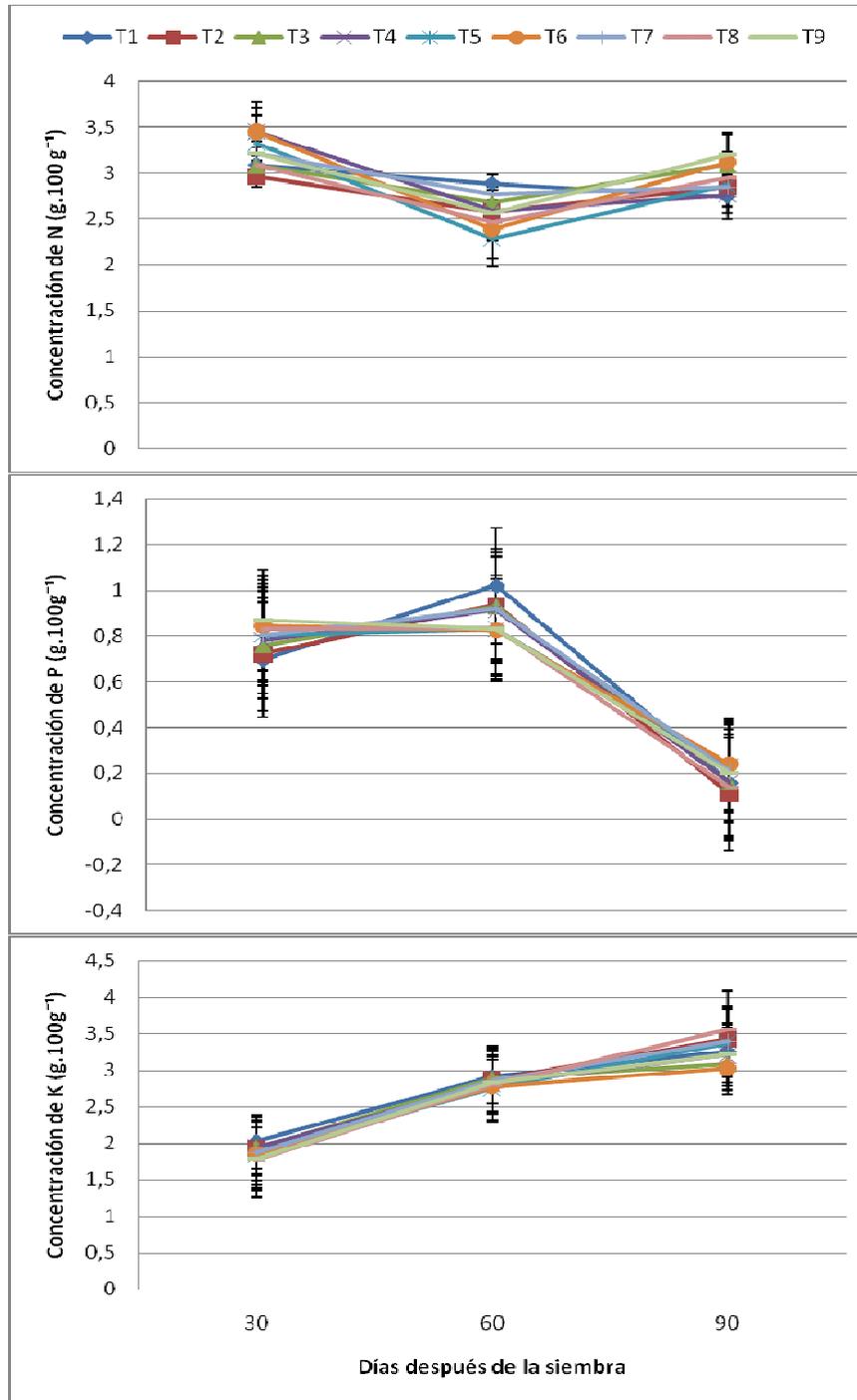


Figura 10. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $KNO_3$  sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el tejido foliar en las plantas de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

### *Extracción de NPK por las plantas*

La extracción de NPK por el cultivo de ajo en este ensayo se presenta en el cuadro 26 y Figura 11.

Para la extracción de nitrógeno (N) por las hojas, se determinaron interacciones altamente significativas entre las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  a los 60 y 90 dds pero no a los 30 dds. En el primer muestreo (30 dds) sólo se establecieron efectos individuales para los factores evaluados. En este caso, para las densidades los tratamientos de 33,33 y 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  resultaron estadísticamente iguales con 55,98 y 54,77  $\text{mg.planta}^{-1}$ , respectivamente, luego se ubicó el tratamiento de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  con 29,00  $\text{mg.planta}^{-1}$ . Todas las dosis de  $\text{KNO}_3$  resultaron estadísticamente iguales cuyos valores fueron: 45,95; 44,93 y 49,33  $\text{mg.planta}^{-1}$  para 25, 50 y 100  $\text{kg.ha}^{-1}$ , respectivamente.

A los 60 dds, el mejor tratamiento correspondió a la combinación de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y la aplicación de 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  con un valor de 118,56  $\text{mg de N.planta}^{-1}$ ; mientras que las plantas que extrajeron menos fueron ubicadas en el tratamiento de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 50  $\text{kg.ha}^{-1}$  con 73,99  $\text{mg.planta}^{-1}$ . Igualmente, a los 90 dds las plantas del tratamiento de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  fue donde se extrajo la mayor cantidad de N con 170,31  $\text{mg.planta}^{-1}$ ; pero aquellas establecidas en 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 25  $\text{kg.ha}^{-1}$  lo hicieron en menor cantidad con un valor de 90,67  $\text{mg.planta}^{-1}$ . (Anexo 1).

Por otra parte, para la extracción de fósforo (P) por las hojas se determinaron interacciones altamente significativas entre las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  a los 30, 60 y 90 dds. En el primer muestreo (30 dds), el mejor tratamiento resultó 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  combinado con 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  cuyo valor fue 14,30  $\text{mg de P.planta}^{-1}$ , y las plantas que extrajeron menos P fueron ubicadas en el tratamiento de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  más la aplicación de 25  $\text{kg.ha}^{-1}$  con 8,02  $\text{mg.planta}^{-1}$ . (Anexo 1).

De igual manera, a los 60 dds el tratamiento donde se extrajo la mayor cantidad de P fue con 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  con 37,25  $\text{mg de P.planta}^{-1}$ ; mientras que en la densidad de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y la aplicación 50  $\text{kg.ha}^{-1}$  se presentó la menor cantidad de P extraída con 25,38  $\text{mg.planta}^{-1}$ . Similarmente ocurrió a los 90

dds, donde las plantas ubicadas en el tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 100 kg.ha<sup>-1</sup> resultó muy superior cuyo valor fue 26,27 mg de P.planta<sup>-1</sup>, y el tratamiento donde se extrajo la menor cantidad de P fue la combinación de 100 plantas.m<sup>-2</sup> más 25 kg.ha<sup>-1</sup> con 14,55 mg.planta<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Por otro lado, en cuanto a la extracción de potasio (K) por las hojas, a los 30 y 60 dds se determinaron efectos individuales, pero no hubo interacciones significativas entre las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub>. En el primer muestreo (30 dds), las plantas establecidas a 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> resultaron superiores con una extracción de 31,11 mg de K.planta<sup>-1</sup>, seguido de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup> con 28,19 y 20,22 mg.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Todas las dosis de KNO<sub>3</sub> resultaron estadísticamente iguales con extracciones de: 27,53; 24,74 y 27,24 mg de K.planta<sup>-1</sup> para 25, 50 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Similar comportamiento se observó para las densidades a los 60 dds, donde las plantas del tratamiento de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> extrajeron la mayor cantidad de K con 144,41 mg.planta<sup>-1</sup>; mientras que aquellas correspondientes al tratamiento de 100 plantas.m<sup>-2</sup> registró la menor cantidad de K con 64,74 mg.planta<sup>-1</sup>. De igual manera ocurrió para las dosis de KNO<sub>3</sub>, observándose la mayor extracción se ubicó en las plantas de las parcelas fertilizadas con 100 kg.ha<sup>-1</sup> cuyo valor fue 111,85 mg de K.planta<sup>-1</sup>, mientras que la menor cantidad correspondió a las plantas de las parcelas con 25 kg.ha<sup>-1</sup> y un 93,03 mg.planta<sup>-1</sup>.

Para los 90 dds se determinaron interacciones significativas entre los factores evaluados. En esta oportunidad, las plantas crecidas en las parcelas con 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> registraron la mayor extracción con 169,16 mg de K.planta<sup>-1</sup>, mientras que aquellas establecidas en las parcelas de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y fertilizadas con 25 kg.ha<sup>-1</sup> extrajeron la menor cantidad de K con 107,72 mg.planta<sup>-1</sup>. (Anexo 1).



En la Figura 11 se puede observar que la mayor extracción de NPK por el tejido foliar de ajo ocurre a partir de los 60 dds justo cuando se ha producido un incremento en el crecimiento vegetativo y se ha iniciado el proceso de formación del bulbo por lo cual la planta demanda mayor cantidad de estos elementos (Rosen y Tong, 2001). Esto se explica porque en las primeras etapas de crecimiento los nutrientes provienen de las sustancias minerales acumuladas en las hojas de reserva de los dientes semillas, las cuales se movilizan permitiendo el crecimiento de las raíces y las primeras hojas formadas (Singh *et al.*, 2001; Ariyama *et al.*, 2006). Respuestas similares fueron encontradas en ajo por Arguello *et al.* (1997).

En este ensayo los niveles de extracción de los 3 elementos fueron: N 46,6 - 126,0 mg.planta; el P 11,3 - 30,6 y K 26,5 y 137,2, los cuales se encuentran entre los parámetros reportados para *Allium* (Arguello *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2001; Rosen y Tong, 2001; INIA, 2008). Esto refleja la eficiencia del manejo del  $\text{KNO}_3$  para la absorción de NPK, requeridos para las funciones bioquímicas de la planta, donde el P desempeña un papel fundamental en la transferencia de energía como parte de la estructura del pirofosfato del ATP y activación de la ATPasa (Leigh, 2001), mientras que el K es el catión principal para mantener el turgor y la electroneutralidad celular (Shabala *et al.*, 2000; Bertsch, 2003).

En el caso del N y K los niveles de extracción se mantienen elevados aún hasta el final del ciclo del cultivo (30 y 14 % más, respectivamente), lo cual se debe a que desde ese momento la planta continua elaborando asimilados hasta el llenado total del bulbo. En la Figura 11 se observa que el cultivo de ajo extrajo mayor cantidad de K en dos momentos claves para la etapa de formación del bulbo, en la inducción (60 dds) y en el llenado (90 dds), lo cual se corresponde con la actividad meristemática en las yemas axilares para formar los dientes y con el traslado de nutrientes desde las hojas hacia el bulbo, respectivamente.

Sin embargo, consume poco P durante los primeros 60 dds, luego se incrementa la extracción durante la formación del bulbo hasta disminuir considerablemente hacia el final de la bulbificación (29 % menos). Arguello *et al.* (2006) señalaron que en ajo el período de mayor demanda de nutrientes es al inicio

del crecimiento aéreo y al comienzo del llenado del bulbo, y que N y K son requeridos en mayores proporciones por la planta.

La respuesta positiva para la absorción de K pudiera atribuirse a una mayor concentración de este elemento en la solución del suelo y en la forma intercambiable en esa etapa de desarrollo de la planta, en la cual el K es directamente absorbido por las raíces de las plantas de ajo. Sin embargo, en el caso del P la eficiencia disminuye posiblemente a la lixiviación o la fijación en el suelo, así como a la morfología de las raíces que carecen de pelos radiculares, por lo que no brinda una buena capacidad para tomar el P u otros minerales (Castellanos *et al.*, 2001).

El rendimiento promedio para las densidades de 333300 plantas.ha<sup>-1</sup> y 1000000 plantas.ha<sup>-1</sup> fue 9290 kg.ha<sup>-1</sup> y 16899 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esto significa que cada tonelada de ajo pudo remover entre 38,9 - 10,2 mg de N; 9,1 - 2,3 mg de P y 38,3 - 10,5 mg de K, respectivamente. La densidad de siembra es un factor importante cuando se considera la absorción de NPK sobre el rendimiento, ya que la competencia entre plantas por la absorción de los elementos minerales se acentúa a medida que las poblaciones se incrementan, sin embargo con las densidades más densas se alcanzan los mayores rendimientos.

Las observaciones anteriores comprueban la esenciabilidad que ejerce el K y su rol promotor en la absorción de NPK porque se mejoran los procesos funcionales de síntesis de clorofila, transformación de asimilados y transferencia de energía, esto se relaciona con eficiencia en el proceso de llenado del bulbo (Gómez, 2007). Además, la respuesta pudiera evidenciar que los altos niveles de nutrición potásica provoca alguna de los siguientes incrementos: intercambio neto de carbono, carga del floema, transporte hacia las células del sumidero y conversión metabólica de sacarosa en los órganos de reserva (Russo, 2009).

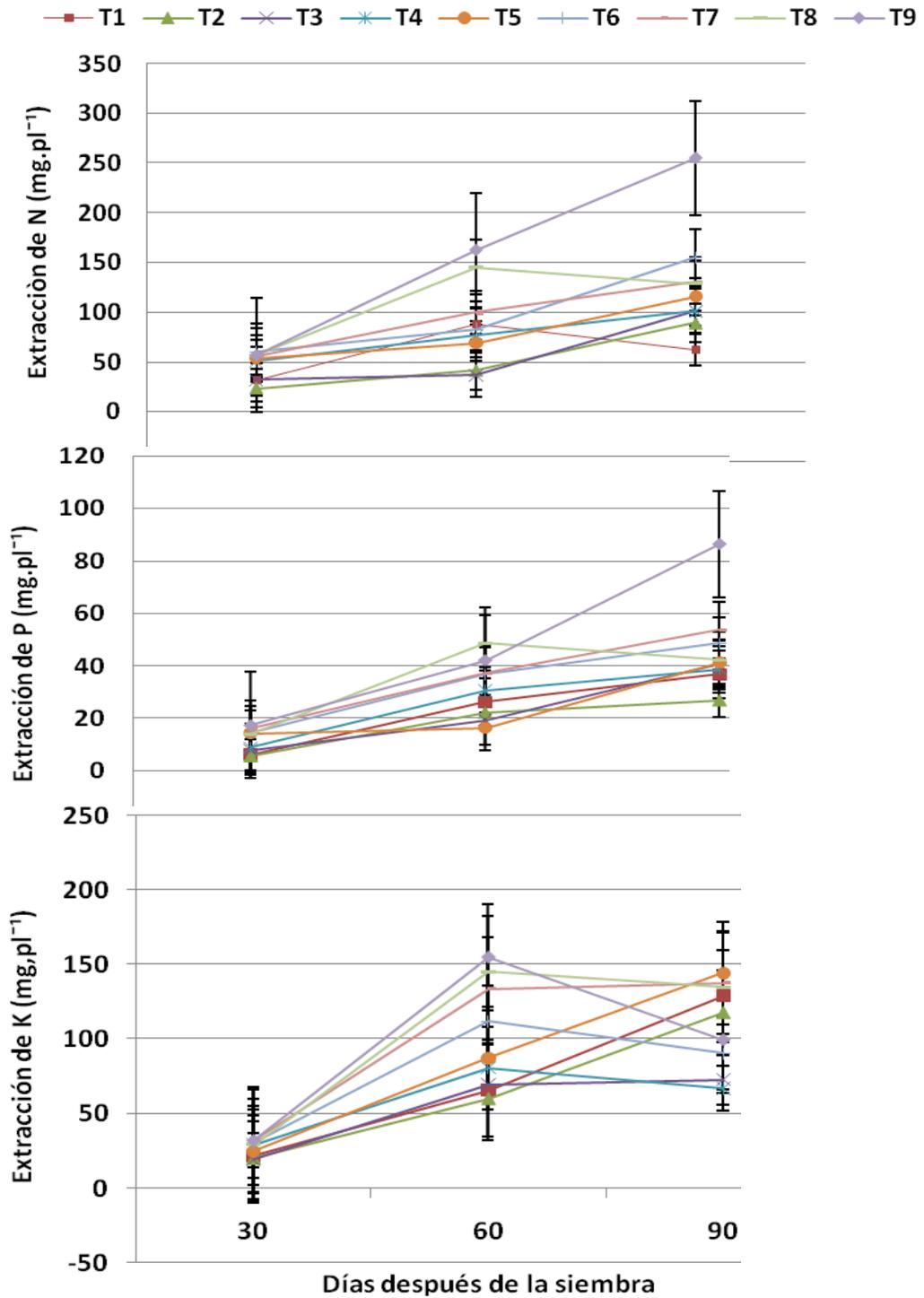


Figura 11. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $KNO_3$  sobre la extracción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por las plantas de ajo criollo morado, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1, T2=D1K2, T3=D1K3, T4=D2K1, T5=D2K2, T6=D2K3, T7=D3K1, T8=D3K2, T9=D3K3.

### ***Propiedades químicas del suelo al final del ensayo***

El Cuadro 27 presenta las propiedades químicas (pH, la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO) y el contenido de NPK del extracto de suelo (0 – 15 cm) de las parcelas experimentales al final del ensayo.

La aplicación de  $\text{KNO}_3$  no provocó cambios significativos en las variables químicas del extracto de suelo de las parcelas al final del ensayo. Sin embargo, en el Cuadro 27 se observa que el pH presentó una tendencia a disminuir en las parcelas donde se aplicaron las dosis más altas (con excepción de aquellas correspondientes a la mayor densidad). En cuanto a la CE los valores se mantuvieron relativamente constantes con muy pocas variaciones, este comportamiento puede asociarse con la fuente de fertilizante usada, la cual se caracteriza por no aumentar los niveles de salinidad en el suelo (Xu *et al.*, 2000; Cakmak, 2005). La MO presentó una tendencia similar en todos los tratamientos.

En cuanto a la disponibilidad de los elementos minerales, el N presentó pocas diferencias entre los 9 tratamientos, aunque se observó un ligero incremento con respecto al nivel inicial. Esta respuesta se atribuye a la aplicación de fertipollo durante las primeras etapas del cultivo (10 dds), la cual es una práctica muy común en los productores de ajo de la zona, y se ha determinado que en este tipo de enmienda la liberación de los nutrientes se produce de manera progresiva (Havlin *et al.*, 1999).

El P prácticamente no sufrió modificaciones entre los tratamientos, y se mantuvo en niveles muy similares a aquellos determinados al inicio del ensayo. Con respecto a los niveles de K, éste si presentó variaciones significativas entre los 9 tratamientos observándose la tendencia a incrementarse a medida que se aplicaron las mayores dosis de  $\text{KNO}_3$ . Asimismo, los niveles de este elemento aumentaron significativamente con respecto a los que presentaba la parcela experimental a comienzos de la investigación pasando de 488 a 798  $\text{mg.kg}^{-1}$  en la mayor dosis. Evidentemente, este cambio se atribuye a la fuente de fertilización química utilizada.

El uso de  $\text{KNO}_3$  como fertilizante ha experimentado un gran auge entre los productores de ajo en Venezuela y en particular en la zona alta del estado Lara. La razón se basa en que esta fuente no tiende a aumentar excesivamente los niveles de

salinidad en el suelo, efecto que si produce el KCl (Chang y Randle, 2004). Al respecto, Marschner (2002) afirma que existe una estrecha relación entre el KCl y el crecimiento celular ya que el K y el Cl actúan como contenedores para el transporte de nutrientes y la concentración osmótica, además juegan un rol fundamental en el movimiento estomático. Por el contrario, el N tiende a incrementar la absorción de P por estímulo del crecimiento de la raíz, además de reducir el pH como consecuencia de la absorción de  $\text{NH}_4^+$  aumentando la solubilidad de los nutrientes minerales (Wilkinson *et al.*, 2000).

Por otra parte, la disponibilidad de nutrientes para las plantas está influenciada por la humedad del suelo, ya que esta permite que una gran proporción de los elementos minerales que no pueden ser obtenidos directamente por la intercepción de las raíces, puedan ser transportados por difusión o flujo de masa (Mengel y Kirkby, 2001). Sin embargo, en las zonas productoras de ajo del estado Lara con altos niveles de lluvia los electrolitos como el Cl pudieran ser arrastrados hacia la solución del suelo, reduciendo el crecimiento y el rendimiento del cultivo (Xu *et al.*, 2000; Chang y Randle, 2004).

La falta de respuesta de la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el rendimiento en ajo al momento de la cosecha pudiera relacionarse con el tipo de suelo utilizado lo que provocó una baja eficiencia en el uso del K, donde el nivel de intercambio inicial del K fue suficiente para las necesidades de las plantas. En este ensayo se utilizó un suelo franco-arenoso con alto contenido de carbonato de calcio. Otros estudios en suelos con similares características han demostrado que el K no afecta el rendimiento del cultivo porque la capacidad buffer del K en este tipo de suelo se adecua a las demandas de la planta (Lloveras *et al.*, 2001).

Además, Lin (2005) observó una reducción drástica en el rendimiento de papa cuando se aplicaron los más altos niveles de N, atribuyendo la respuesta a la inmovilidad del  $\text{NO}_3$  en el floema y xilema afectando su transporte hacia el tubérculo debido a la baja tasa de transpiración de los órganos de almacenaje.

Cuadro 27. Propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y contenido mineral (NPK) del extracto de suelo (0 – 15 cm) de las parcelas experimentales al final del ensayo.

TRATAMIENTO	Extracto de suelo saturado					
	pH (1:1 agua)	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	MO (%)	N (%)	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )
D1K1	5,95	2,72	5,27	0,31	476	415
DIK2	5,79	3,02	4,14	0,29	471	598
DIK3	5,41	2,90	5,49	0,40	473	666
D2K1	5,20	2,79	4,35	0,30	463	350
D2K2	4,83	3,16	3,79	0,30	436	505
D2K3	5,14	3,43	5,10	0,34	474	693
D3K1	5,22	3,28	4,76	0,33	461	377
D3K2	5,76	3,25	4,05	0,33	488	494
D3K3	6,35	2,27	4,20	0,32	474	798

Fuente: Laboratorio general de suelos. Instituto de edafología. UCV.

En general, se puede decir que las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento vegetativo del ajo morado. Al respecto, las plantas crecidas en las parcelas menos densas y fertilizadas con las mayores dosis produjeron el mayor número de hojas, índice relativo de clorofila, índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa y biomasa del follaje.

Asimismo, las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> afectaron el proceso de formación del bulbo. Las plantas desarrolladas en las poblaciones más bajas y fertilizadas con las mayores dosis registraron la mayor biomasa del bulbo, diámetro ecuatorial, índice de bulbificación, tasa de asimilación neta y ritmo de crecimiento. Sólo en el coeficiente de partición no se observó un efecto bien definido.

Por otra parte, el rendimiento del ajo fue afectado por las densidades, pero no por las dosis de KNO<sub>3</sub>. Las poblaciones más densas presentaron los mayores rendimientos comparado con aquellas menos densas; mientras que las mayores cantidades de KNO<sub>3</sub> se inclinaron hacia los mayores rendimientos.

Al final del ciclo del cultivo, el contenido de NPK en la hoja y la extracción de estos elementos por la planta fueron mayores en las poblaciones más bajas y con las dosis intermedias de KNO<sub>3</sub>.

## **CAPÍTULO V**

### **EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA NUTRICIÓN POTÁSICA SOBRE EL CONTENIDO DE GIBERELINAS DURANTE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DEL AJO**

#### **Introducción**

Las giberelinas (GAs) son diterpenoides compuestos de 19 o 20 átomos de carbono, actualmente se han reportado alrededor de 135 GAs presentes en plantas superiores y/o hongos, pero solo una tercera fracción de ellas son biológicamente activas (Reid *et al.*, 2002; Itoh *et al.*, 2004), las otras pueden formar parte de los precursores de otras giberelinas o estar ligadas a grupos de carbohidratos, lo cual las hace potencialmente inactivas (Hedden *et al.*, 2002; Dai *et al.*, 2007).

Existen muchas evidencias de que las GAs son por sí mismas reguladores endógenos, aunque pueden interactuar directa o indirectamente con las auxinas y otras hormonas vegetales (Eriksson *et al.*, 2006, Yamaguchi *et al.*, 2008). Se ha demostrado que la aplicación de ácido giberélico (GA) estimula la producción de ácido indolacético (IAA) en algunas plantas, y sus efectos fisiológicos son similares a aquellos provocados por auxinas, como la elongación del tallo, reversión del enanismo, inducción de la floración en plantas fotoperiódicas dependientes de la temperatura, promoción del amarre del fruto, rompimiento del letargo, y aceleración de la germinación, entre otros (Stavang *et al.*, 2005; Achard *et al.*, 2006).

En los últimos años ha quedado firmemente establecido que la mayor giberelina bioactiva es GA<sub>1</sub>, demostrado en arvejas aplicando pequeñas gotas durante las primeras 24 horas de exposición a la luz (Gil y García, 2000; O'Neill *et al.*, 2000). La marcada diferencia en la elongación del tallo entre plantas crecidas en luz u oscuridad pudiera ser atribuido a una reducción en la respuesta de los tejidos de crecimiento del tallo a GA<sub>1</sub> (Reid *et al.*, 2002; Alabadí *et al.*, 2004).

En semillas, las GAs promueven la biosíntesis de diversas enzimas hidrolíticas como amilasas, proteasas y ribonucleasas requeridas para los procesos de germinación y el desarrollo del retículo endoplasmático, actuando como un sistema

de transporte intracelular (Helliwell *et al.*, 2001; Kaneko *et al.*, 2002). Durante la germinación de las semillas de arroz, el embrión sintetiza GAs que son transportadas a las células aleurónicas, induciendo la síntesis de novo de enzimas hidrolasas que degradan el complejo almidón-proteína-hemicelulosa en azúcar, péptidos y aminoácidos necesarios para reactivación metabólica del embrión (Kaneko *et al.*, 2002; Wolbang *et al.*, 2004).

Por otra parte, las GAs juegan un rol clave en los procesos de formación de órganos de almacenaje. La formación de bulbos se considera un proceso morfogénico influido por hormonas al igual que el desarrollo de tubérculos, donde se considera que es esencial una reducción en los niveles de GAs (Kim *et al.*, 2003).

En este sentido, Le Guen *et al.*, (2002) observaron que el crecimiento *in vitro* de cebollín (*Allium cepa* L. Grupo *Aggregatum*) bajo condiciones de luz fluorescente con rojo lejano y presencia de GA<sub>3</sub> en el medio de cultivo impidió la formación del bulbo. De igual manera, Kim *et al.*, (2003) encontraron que la adición de GA<sub>3</sub> al medio suprimió significativamente la formación de los dientes en ajo *in vitro*, por lo tanto sugieren que este proceso puede ser alterado por el desbalance de los reguladores de crecimiento utilizados para inducir la formación del bulbo.

Aunque se han producido grandes avances en el estudio de la química y vías de la biosíntesis de las GAs, en Venezuela aún es escaso el conocimiento de las acciones fisiológicas de los niveles de GAs en el cultivo de ajo y su interacción con la vernalización, la acción del fotoperíodo y la temperatura durante la bulbificación en campo, así como en el efecto de la nutrición mineral y la densidad de siembra sobre los niveles endógenos de estos compuestos en la planta.

Por lo tanto, la extracción y cuantificación de los niveles endógenos de GAs cultivado bajo 3 densidades de siembra y con la aplicación de 3 dosis de KNO<sub>3</sub> pudieran proveer información importante de los efectos individuales o combinados de estos factores sobre la producción de GAs en los tejidos durante las etapas de desarrollo del bulbo en ajo.

## **Materiales y métodos**

### ***Material vegetal y obtención del extracto***

Se utilizaron los brotes principales de las plantas de ajo. Los muestreos se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). En cada tratamiento la muestra estuvo representada por una planta y se tomó el brote principal de la misma, se liofilizó y almacenó a temperatura ambiente hasta su procesamiento.

Para la extracción de giberelinas se siguió el método utilizado por Vásquez (2005), el cual se describe en el capítulo III.

### ***Separación y Cuantificación de giberelinas***

La separación y cuantificación se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) utilizando un cromatógrafo Waters<sup>®</sup> modelo 510 equipado con una columna Symetry C<sub>18</sub> de 3.5 µm de tamaño de partícula y de 4.6 x 100 mm de diámetro y largo, respectivamente, así como un detector de arreglo de diodos, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nm. Este procedimiento se detalla en el capítulo III.

Todos los datos fueron tomados de acuerdo a los métodos descritos en el capítulo III. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de media según Tukey con un nivel de  $P < 0,05$  para los tratamientos que resultaron significativos utilizando el paquete estadístico Statistic para Windows 8.0. Para establecer la asociación entre algunas las variables evaluadas se realizaron análisis de correlación según Pearson  $P < 0,05$  obteniendo los coeficientes y los niveles de significancia. Para analizar el comportamiento de las variables en cada fecha de muestreo se construyeron cuadros con los promedios de cada tratamiento indicando la media general y el coeficiente de variación para cada grupo de casos.

## Resultados y discusión

### *Separación del ácido giberélico (GA<sub>3</sub>)*

El perfil de separación generado por el cromatograma de las muestras de ajo criollo morado a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), bajo 3 densidades y 3 dosis de KNO<sub>3</sub> es mostrado en la Figura 12. Para las 3 fechas de muestreo indicadas y en todos los tratamientos, con una absorbancia de 205 nanómetros (nm), solo un pico presentó un espectro similar al estándar del ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), con tiempo de retención (TR) de 4,85 minutos.

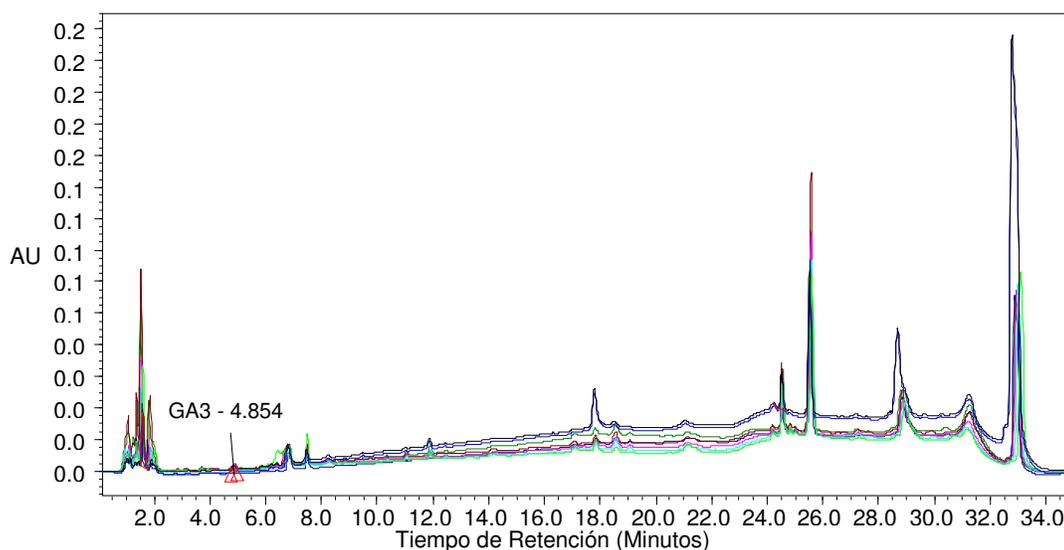


Figura 12. Cromatograma de la giberelina GA<sub>3</sub> extraída de los brotes de ajo criollo morado, cultivado bajo 3 densidades de siembra y 3 dosis de KNO<sub>3</sub>, a los 30, 60 y 90 dds. Líneas: negra D1K1, verde D1K2, azul oscuro D1K3, naranja D2K1, morado D2K2, azul claro D2K3, rosa D3K1, marrón D3K2 y azul cielo D3K3.

Estos resultados coinciden con Arguello *et al* (2001) quienes determinaron la presencia de GA<sub>3</sub> en ajo cv Perla. También son similares a otros obtenidos por Mujica (2008) en cebolla cultivares Candy y Texas Grano 1015Y (datos no publicados). Sin

embargo, difieren de las determinaciones realizadas en extractos metanólicos de brotes de ajo cvs Taiwan (Vázquez, 2005) y Retinto (Utrilla, 2008) quienes no encontraron GA<sub>3</sub>, pero señalaron otros picos llamados fracciones (Fr1, Fr2, Fr3) con actividad fisiológica de giberelinas y tiempos de retención similares a los encontrados en este ensayo.

### ***Cuantificación del ácido giberélico (GA<sub>3</sub>)***

El contenido de GA<sub>3</sub> en ajo criollo morado a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), bajo 3 densidades y 3 dosis de KNO<sub>3</sub> es mostrado en el Cuadro 28. Para los 30 dds se determinó una interacción altamente significativa los factores densidad x dosis, correspondiendo la mejor combinación a la menor densidad de siembra (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) con la mayor dosis (100 kg.ha<sup>-1</sup>), cuyos valores alcanzaron promedios de 0,181 y 0,169 mg.g<sup>-1</sup> de brote fresco, respectivamente.

A los 60 dds también se observó interacción para ambos factores, estableciéndose como mejor combinación la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> con valores de 0,513 y 0,498 mg.g<sup>-1</sup> de brote fresco, respectivamente. Esta misma tendencia se nota a los 90 dds, con valores de 0,068 mg.g<sup>-1</sup> de brote fresco para la menor densidad (33,33 plantas.m<sup>-2</sup>) y 0,076 mg.g<sup>-1</sup> de brote fresco para la mayor dosis de KNO<sub>3</sub> (100 kg.ha<sup>-1</sup>).

Cuadro 28. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el contenido de ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ) en ajo criollo morado a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

TRATAMIENTO	Contenido de $\text{GA}_3$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )		
	Días después de la siembra		
	30	60	90
Densidad ( $\text{plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ )			
33,33	0,181 a	0,458 b	0,068 a
50	0,177 b	0,513 a	0,069 a
100	0,119 c	0,140 c	0,021 b
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )			
25	0,148 c	0,227 c	0,033 c
50	0,160 b	0,387 b	0,048 b
100	0,169 a	0,498 a	0,076 a
Densd x Dosis	**	**	**
Xm	0,159	0,370	0,052
CV	1,94	2,84	2,02

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En este ensayo las diferentes densidades de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$  exhibieron un efecto significativo sobre los niveles de  $\text{GA}_3$  en el tejido foliar. Las plantas crecidas en las parcelas de bajas densidades y fertilizadas con mayores dosis produjeron mayores concentraciones de  $\text{GA}_3$  comparadas con aquellas de altas densidades y de menores dosis, aunque la respuesta varió entre los tratamientos. El efecto de los 2 factores evaluados se corresponde con la interacción altamente significativa encontrada para cada fecha de muestreo. La competencia de las plantas por luz, agua y nutrientes podrían explicar las diferencias en los tratamientos sobre las concentraciones de  $\text{GA}_3$ .

Algunas evidencias indican que los cambios en las concentraciones de  $\text{GA}_3$  son provocadas por la regulación de luz durante la fotomorfogénesis de la planta, ya que esta estimula de síntesis de auxinas que promueven los procesos de división celular (Penfield *et al.*, 2005; Oh *et al.*, 2007). En este ensayo las bajas densidades permitieron una mayor percepción de luz por las plantas lo cual pudiera producir cambios de flujo en la ruta de la biosíntesis del  $\text{GA}_3$ , esta situación contribuiría a

alterar la concentración del GA<sub>3</sub> y/o modificar la respuesta al mismo durante la morfogénesis de las plantas de ajo, tal como ha sido señalado por Alabadí *et al.* (2004) y Yamaguchi *et al.* (2008).

Por otra parte, los mayores niveles de GA<sub>3</sub> determinados durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas de ajo probablemente estén asociados con la exposición de los dientes semilla al frío antes de la siembra, ya que existen evidencias de que la vernalización induce la expresión del genes que provocan un aumento en los niveles de GAs en las hojas y en los tejidos de los brotes (Macmillan *et al.*, 2005; Lee y Zeevaart, 2007).

Estos resultados coinciden con Arguello *et al* (2001) quienes reportaron la presencia de GA<sub>3</sub> como la única giberelina activa en ajo cv `Perla`. Sin embargo, difieren a los datos reportados por Vásquez (2005) ya que no encontró AG<sub>3</sub> en ajo de los cultivares `Taiwan` y `Chino`, pero determinó la presencia de 3 compuestos llamados Fr1, Fr2 y Fr3 con acción biológica de giberelinas medida por la inducción de la actividad de la enzima  $\alpha$ -amilasa, con concentraciones de 0,60 y 0,30 mg.g<sup>-1</sup> de masa fresca.

Lo anterior sugiere que hay una respuesta en función al cultivar o tipo de material vegetal utilizado, ya que se ha demostrado una regulación genética que controla el patrón, tipo y la concentración de GAs, las cuales pueden variar con el estado de desarrollo de la planta (Gallego *et al.*, 2008).

### ***Niveles de GA<sub>3</sub> vs número de hojas (NH)***

Con respecto a la relación entre los niveles de GA<sub>3</sub> y el NH no se determinaron correlaciones significativas para los 30, 60 y 90 dds (Cuadro 29). Sin embargo, en la Figura 13 se evidencia que la velocidad de producción de GA<sub>3</sub> fue alta y se incrementó con el NH a medida que avanzó el crecimiento vegetativo y se produjeron nuevas hojas. En todos los tratamientos la concentración de GA<sub>3</sub> aumentó hasta los 60 dds donde alcanzó el máximo valor de 0,50 mg.g<sup>-1</sup>, a partir del cual disminuyó un 14,2% aproximadamente, mientras que el número de hojas continuó aumentando hasta el final del período de crecimiento del cultivo (90 dds).

Estos resultados sugieren que el GA<sub>3</sub> pudiera asociarse más con el desarrollo del bulbo que con el tejido foliar, ya que para el crecimiento vegetativo podrían actuar otras GAs. Kim *et al.* (2003) determinaron que el contenido de GA<sub>4</sub>, fue mayor que GA<sub>1</sub> en el tejido foliar y en el tubérculo de *Disocorea opposita* durante el desarrollo del mismo, indicando que el mayor nivel de GA<sub>4</sub> en estos tejidos puede estar estrechamente relacionado con la formación del tubérculo, mientras que el GA<sub>1</sub> pudiera hacerlo para el brote vegetativo. Por su parte Tanimoto (2005) reportó que durante el crecimiento del brote, el GA<sub>3</sub> mostró una curva de saturación en las relaciones dosis-respuesta inhibiendo la elongación en las mayores concentraciones (4 ng.g<sup>-1</sup>).

Esta característica acción de las GAs sobre el crecimiento de las plantas pudiera ser una situación crítica ya que existen reportes controversiales sobre las funciones de ellas para la fisiología de la planta. En esta investigación los resultados pudieran revelar que la velocidad de translocación del GA<sub>3</sub> desde el diente hacia el brote vegetativo no es lo suficientemente alta como para estimular su crecimiento, ya que si la translocación fuera mayor, el GA<sub>3</sub> derivado de los dientes tendría una correlación significativa con la formación de hojas (Yaxley *et al.*, 2001).

Aunque se determinó la existencia de GA<sub>3</sub> en el brote de ajo, es necesario considerar la posibilidad de que los niveles de GA<sub>3</sub> requeridos para el desarrollo del bulbo son mucho menores que aquellos necesarios para el crecimiento del follaje, debido a que la mayor producción de GA<sub>3</sub> se debe al control adecuado de su regulación homeostática por parte de la planta (Olszewski *et al.*, 2002; Achard *et al.*, 2006). Por lo tanto, una vez alcanzado el nivel necesario para estimular el crecimiento bien sea del brote o del bulbo se produce una inhibición en la síntesis de AG<sub>3</sub>, tal como ha sido demostrado con AG<sub>1</sub> en brotes de arvejas por Reid *et al.* (2002).

Por otra parte, Rakhimbaev y Ol`shanskaya (1981) encontraron giberelinas en bulbos de ajo en estado de letargo e indicaron que éstas pasaban al estado activo durante el rompimiento del mismo. Esto sugiere que el desarrollo del brote de ajo resulta de la liberación de las giberelinas desde la hoja de almacenaje, y que de manera automática promueven el crecimiento de los tejidos (Portela, 1996). Asimismo, existen evidencias de que el mecanismo de crecimiento del brote es

controlado por la síntesis de giberelinas junto con la temperatura. En este sentido, Arguello *et al.* (2001) reportaron que el almacenaje a 4 °C previo a la siembra, incrementó los niveles de AG<sub>1</sub> y anticipó el proceso de brotación en ajo. Vázquez (2005) encontró una relación directa entre el aumento de la concentración de compuestos con actividad de giberelinas, llamados fracciones 2 y 3, con el crecimiento del brote de ajos de los cultivares `Taiwan` y `Chino` almacenados a 15 °C.

Cuadro 29. Coeficientes de correlación entre los niveles de GA<sub>3</sub> y el número de hojas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de la siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	-0,6136	ns
60	0,6012	ns
90	0,6191	ns

(Pearson < 0,05)

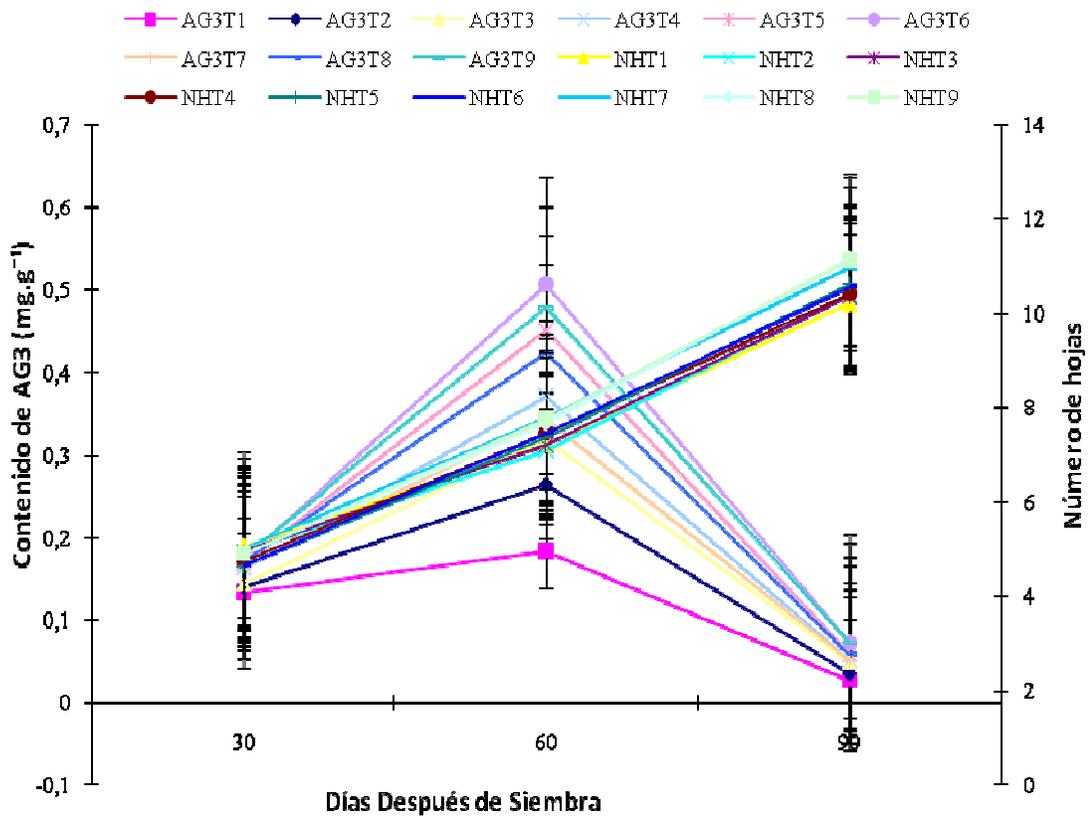


Figura 13. Correlación entre los niveles de AG<sub>3</sub> y el número de hojas (NH) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3.

### *Niveles de GA<sub>3</sub> vs diámetro ecuatorial del bulbo (DE)*

Con respecto a la relación entre los niveles de GA<sub>3</sub> y el DE se determinaron correlaciones altamente significativas para los 30 y 60 dds, pero no para los 90 dds (Cuadro 30). Para los 30, 60 y 90 dds se estableció una correlación positiva con coeficientes de 0,9559; 0,9114 y 0,6297, respectivamente.

En la figura 14 se observa que inicialmente la velocidad de producción de GA<sub>3</sub> es constante y se incrementó proporcionalmente al DE a medida que avanzó el crecimiento vegetativo y se inició el proceso de formación del bulbo, alcanzando una concentración total de 0,50 mg.g<sup>-1</sup> con un DE de 3,06 cm a los 60 dds, a partir de ese momento el contenido de GA<sub>3</sub> se reduce significativamente hacia el final del ciclo del cultivo (90 dds); mientras que el DE continuó incrementándose durante la etapa de llenado del bulbo, aquí se notan claramente las respuestas diferenciales entre los tratamientos para los niveles de GA<sub>3</sub>.

En este ensayo cuando la planta alcanzó un 69,3 % del crecimiento vegetativo y un 57,9 % de desarrollo del bulbo se produjo una reducción significativa en la concentración de GA<sub>3</sub>, lo que parece indicar que estos dos procesos en ajo son inducidos por la acción de las giberelinas hasta que éstas alcanzan un nivel máximo en el tejido foliar de 0,5 mg.g<sup>-1</sup>, sugiriendo un posible desbalance de los reguladores de crecimiento a partir de ese momento. Es probable que a esta concentración se produzca un estrés en la planta activándose la enzima AG-2-oxidasa que induce la desactivación del GA<sub>3</sub> alterando los niveles en los tejidos (Yamaguchi *et al.*, 2008), lo cual fue corroborado por Lee y Zeevaart (2007) en espinaca.

Cuadro 30. Coeficientes de correlación entre los niveles de GA<sub>3</sub> y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

Días después de la siembra	R <sup>2</sup>	Significancia
30	0,9559	**
60	0,9114	**
90	0,6297	ns

(Pearson < 0,05)

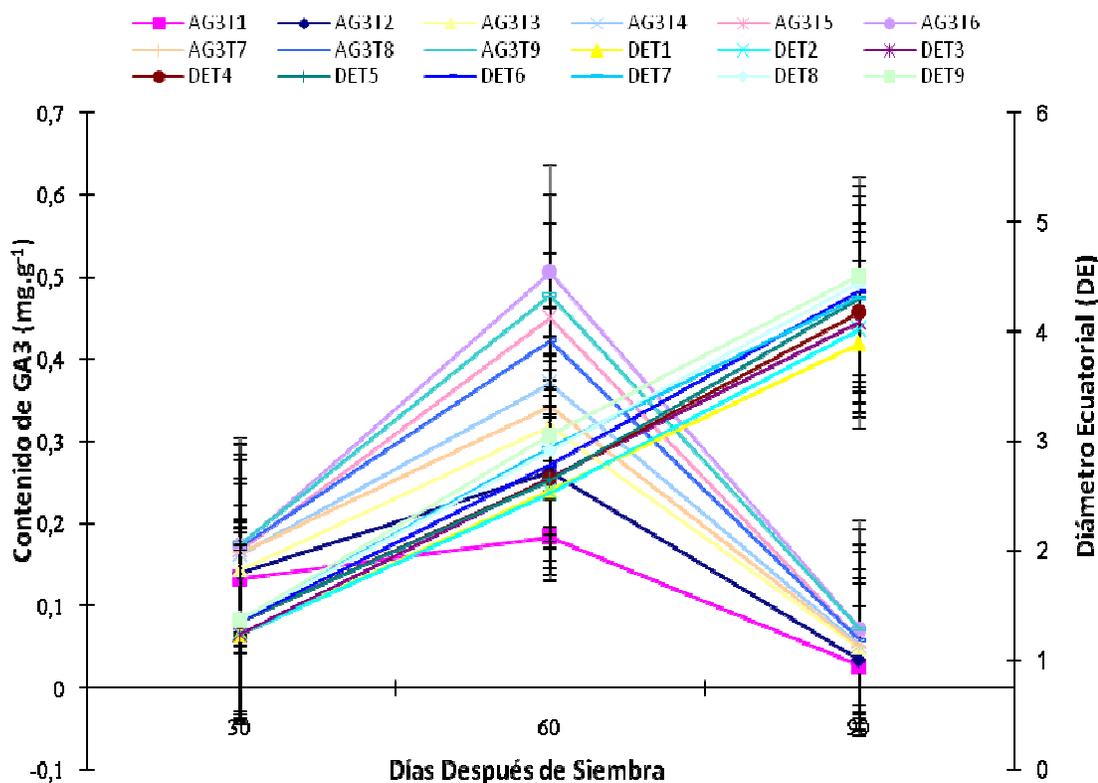


Figura 14. Correlación entre los niveles de AG<sub>3</sub> y el diámetro ecuatorial del bulbo (DE) a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. T1=D1K1; T2=D1K2; T3=D1K3; T4=D2K1; T5=D2K2; T6=D2K3; T7=D3K1; T8=D3K2; T9=D3K3.

Estos resultados concuerdan parcialmente con otros obtenidos por Mujica (2008) en cebolla cultivares Candy y TG1015Y (datos no publicados) donde se determinó la presencia de GA<sub>3</sub> a partir de los 86 dds, pero que de igual manera disminuyó su contenido en los tejidos entre los 210 y 224 dds una vez que avanza el desarrollo del bulbo. También Utrilla (2008) observó este mismo comportamiento para el ajo cv “Retinto” con las fracciones (Fr1 y Fr2) aunque con diferencias en los días después de la siembra.

Los resultados de este ensayo confirman que la formación del bulbo en ajo es controlada por el balance de las GAs endógenas que permiten promover este proceso, ya que al principio se requieren altos niveles de GA<sub>3</sub> para inducir la bulbificación, pero las altas concentraciones durante la etapa de llenado pudieran actuar de manera negativa revirtiéndose el proceso (Yamaguchi y Kamiya, 2000; Yamaguchi *et al.*, 2008). En este sentido, Le Guen *et al.* (2002) reportaron que la combinación del Ancymidol (inhibidor de biosíntesis de GAs) con GA<sub>3</sub> promovió la formación del bulbo y el porcentaje de bulbificación en cebollín revirtiendo el efecto del GA<sub>3</sub> cuando se aplicó solo. Una respuesta similar fue encontrada por Rademacher (2000) al aplicar Cicocel.

Asimismo, los datos indican que las diferencias encontradas en los mecanismos de síntesis del GA<sub>3</sub> durante la formación del bulbo de ajo criollo morado con respecto a otros autores, posiblemente estén asociados con el genotipo, ya fue demostrado por Reid *et al.* (2002) y Foo *et al.* (2006) una regulación compleja de la biosíntesis genética de GAs a nivel de transcripción, lo cual resultó en una reducción de los niveles de GA<sub>1</sub> y por consiguiente en la poca elongación de los tejidos en el brote. Gallego *et al.* (2008) también encontraron ligeras variaciones en los niveles de GA<sub>1</sub> debido a la expresión del gen giberelina 3-oxidasa en tabaco, sugiriendo un rol importante de este gen para el control de la homeostasis del GA<sub>1</sub> en la planta.

Muchos pasos en la vía de la biosíntesis de las GAs son controlados por enzimas producidas en cada especie, en el cual cada gen tiene un patrón específico de expresión, provocando variaciones en las concentraciones de las GAs lo que a su vez modifica las respuestas de los tejidos a ellas (Hedden *et al.*, 2002; Ueguchi *et al.*, 2007; Gallego *et al.*, 2008).

En general, la densidad de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo afectaron las concentraciones de  $\text{GA}_3$  durante el desarrollo del brote de ajo. Las plantas desarrolladas en las parcelas con bajas poblaciones y fertilizadas con las dosis más altas presentaron los mayores niveles de este compuesto.

Los niveles de  $\text{GA}_3$  encontrados en ajo criollo morado se correlacionan directamente con el crecimiento de la planta y están fuertemente asociados con el genotipo, además de los factores ambientales, especialmente luz y vernalización, corroborando los reportes de Le Guen *et al.* (2002), Macmillan *et al.* (2005) y Stavang *et al.* (2005).

**CAPITULO VI**  
**EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA, LA NUTRICIÓN POTÁSICA Y**  
**LAS CONDICIONES DE ALMACENAJE SOBRE LA CALIDAD**  
**POSCOSECHA DEL AJO**

**Introducción**

El ajo puede ser cosechado en diferentes estados de desarrollo para mercados especiales, pero la mayoría de las veces la recolección se realiza cuando los bulbos están maduros. Una vez cosechados, los bulbos siguen un proceso de curado o secado al sol para maximizar su vida en almacén y disminuir las pudriciones, en este proceso el producto puede perder hasta un 10% de humedad (Cantwell, 2004).

La calidad del ajo está determinada por diversos factores como las características propias de la variedad, el manejo agronómico y el tratamiento del producto durante las poscosecha. Sin embargo, el crecimiento del cultivo no es homogéneo durante todo el ciclo de producción, lo que genera una variación en los estados de desarrollo dentro de la misma plantación y esto trae como consecuencia pérdida de calidad durante el almacenaje (Vásquez *et al.*, 2006).

El principal problema de calidad durante el almacenaje de ajos es el rompimiento del letargo, en este estado los bulbos brotan y forman raíces lo que representa pérdida de masa y firmeza (Brewster, 2001). Esta situación se presenta en forma natural para cada variedad en distintos tiempos y se acelera cuando no se controlan adecuadamente los factores en el almacén.

Por lo tanto, la intensidad de todos los atributos de calidad está determinada por la concentración de ciertas sustancias almacenadas en sus tejidos como por ejemplo, azúcares simples y complejos, ácidos orgánicos, fenoles y compuestos órgano-sulfurados, entre otros (Pozzo *et al.*, 2005). Si bien estas características están fijadas genéticamente, el manejo durante el cultivo y la comercialización del producto pueden ocasionar cambios en las tasas metabólicas apartando a los cultivares de ajo de los estándares comerciales.

Bajo estas consideraciones, el presente ensayo fue diseñado para evaluar el efecto de la densidad de siembra, la nutrición con  $\text{KNO}_3$  y las condiciones de almacenaje sobre la calidad poscosecha del ajo morado.

## **Materiales y métodos**

### ***Evaluación durante el almacenaje***

Los bulbos fueron clasificados y seleccionados libres de daños mecánicos y aparentemente sin patógenos. Posteriormente se almacenó un lote (180 bulbos) a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y otro lote (180 bulbos) a 10 °C con 85% HR durante 90 días en cavas de refrigeración bajo condiciones controladas de temperatura y HR (Cantwell *et al.*, 2003; Vásquez, 2005; Mujica y Pérez, 2006).

El ensayo fue organizado en un diseño de experimento completamente aleatorizado con arreglo factorial  $3^2 \times 2$  (3 densidades, 3 dosis y 2 temperaturas), con 5 bulbos x 4 repeticiones x 18 tratamientos, para un total de 360 bulbos (180 bulbos/condición de temperatura). Para los análisis se tomó al azar de un bulbo de cada repetición. Las evaluaciones se hicieron al inicio, y a los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) con el fin de determinar las variables: porcentaje de pérdida de masa fresca, materia seca, contenido de sólidos solubles totales (°Brix), acidez total titulable (% ácido pirúvico), relación sólidos solubles totales/acidez total titulable (SST/ATT), pH, contenido de piruvato, color (L, Hue y Chroma), firmeza (pulgadas) y el índice de brotación.

Todos los datos fueron tomados de acuerdo a los métodos descritos en el capítulo III, Se realizaron análisis de varianza y pruebas de media según Tukey con un nivel de  $P < 0,05$  para los tratamientos que resultaron significativos utilizando el paquete estadístico Statistic para Windows 8.0. Para establecer la asociación entre algunas las variables evaluadas se realizaron análisis de correlación según Pearson  $P < 0,05$  obteniendo los coeficientes y los niveles de significancia. Para analizar el comportamiento de las variables en cada fecha de muestreo se construyeron cuadros

con los promedios de cada tratamiento indicando la media general y el coeficiente de variación para cada grupo de casos.

## **Resultados y discusión**

Es bien conocido el rol del K sobre la calidad poscosecha de las plantas, como cofactor enzimático, síntesis y estabilidad de proteínas, síntesis de carbohidratos, osmoregulación y translocación (Marschner, 2002), los cuales influyen sobre la fisiología de la planta. De esta manera, un buen balance nutricional de K pudiera contribuir a optimizar la calidad final de los productos en los cultivos.

A continuación se presenta el efecto de la densidad de siembra, la fertilización con  $\text{KNO}_3$  en campo y las condiciones de almacenaje sobre el comportamiento de las variables de calidad poscosecha de los bulbos del ajo criollo morado.

### ***Pérdida de masa fresca (%PMF)***

El porcentaje de pérdida de masa fresca (%MF) del bulbo de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presenta en el Cuadro 31.

Para los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) no se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre el porcentaje de pérdida de masa fresca, pero si se establecieron efectos individuales. En este sentido, a los 30 dda en las densidades se presentaron 2 grupos estadísticos, uno que registró el mayor %PMF (6,61 y 5,80) conformado por los bulbos provenientes de las densidades de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente, y el otro con 3,30 %PMF en los bulbos de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Para las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores de %PMF fueron similares estadísticamente con la tendencia más alta (5,32 %PMF) hacia las menores dosis aplicadas en campo. Para las temperaturas de almacenaje se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que registró el mayor %PMF

(7,05) en los bulbos colocados a 10 °C, y el otro con 3,42 %PMF en aquellos almacenados a 25 °C.

Para los 60 dda, en las densidades se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que presentó el mayor %PMF (13,68 y 11,92) en los bulbos desarrollados en las poblaciones de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente; y el otro con 7,45 %PMF en aquellos provenientes las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Con respecto a las dosis de KNO<sub>3</sub> se determinaron 3 grupos estadísticos, uno con el mayor %PMF (12,19) en los bulbos de las parcelas donde se aplicaron 50 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido de 10,8 y 10,05 %PMF para aquellos donde se fertilizó con 100 y 25 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las temperaturas de almacenaje se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que registró el mayor %PMF (14,26) en los bulbos colocados a 10 °C, y el otro con 7,75 %PMF en aquellos almacenados a 25 °C.

Para los 90 dda, en las densidades se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que presentó el mayor %PMF (18,21 y 15,81) en los bulbos desarrollados en las poblaciones de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente; y el otro con 11,16 %PMF en aquellos provenientes las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Con respecto a las dosis de KNO<sub>3</sub> se determinaron 2 grupos estadísticos, uno con el mayor %PMF (16,64) en los bulbos de las parcelas donde se aplicaron 50 kg.ha<sup>-1</sup>, y el otro con 15,13 y 13,41 %PMF para aquellos donde se fertilizó con 100 y 25 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las temperaturas de almacenaje se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que registró el mayor %PMF (20,43) en los bulbos colocados a 10 °C, y el otro con 9,69 %PMF en aquellos almacenados a 25 °C.

Cuadro 31. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el porcentaje de pérdida de masa fresca del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Pérdida de masa fresca (%)		
	Días después del almacenamiento		
	30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )			
33,33	6,61 a	13,68 a	18,21 a
50	5,80 a	11,92 a	15,81 a
100	3,30 b	7,45 b	11,16 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			
25	5,32 a	10,05 c	13,41 b
50	5,29 a	12,19 a	16,64 a
100	5,09 a	10,80 b	15,13 b
Temperatura (± 2 °C)			
25	3,42 b	7,75 b	9,69 b
10	7,05 a	14,26 a	20,43 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp.	ns	ns	ns
Xm	5,24	11,02	15,06
CV(%)	23,29	22,4	24,62

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  
P < 0,05

En este estudio la combinación de las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo no afectaron la pérdida de MF durante el almacenaje de los bulbos de ajo. Sin embargo, las condiciones de almacenamiento si influyeron sobre esta variable ya que en los bulbos almacenados a 10 °C el porcentaje de pérdida fue mayor en comparación con aquellos que estuvieron a 25 °C, una respuesta similar fue reportada en bulbos de ajo cv Perla colocados a 5 °C (López, 2004). No obstante, estos resultados difieren de Rosen y Tong (2001) quienes señalaron mayor pérdida de MF en ajo almacenado a 21 °C comparado con otros colocados a 3 °C. Similares observaciones fueron hechas por Choi *et al.* (2008) en ajo almacenado a 1 y 20 °C.

Este comportamiento de los bulbos de ajo morado durante el almacenaje a 10 °C posiblemente esté asociado a una mayor actividad metabólica como respiración, división y elongación celular, en los cuales se requiere el consumo de agua para la ocurrencia de estos procesos fisiológicos (Orthen, 2001; Kouakou *et al.* 2010). De igual manera, podrían presentarse cambios en su composición química producto del consumo de las reservas para el crecimiento del brote, y esto fue evidenciado por el índice de brotación de los bulbos que estaban bajo esas condiciones, lo cual corrobora los reportes de López (2004) y Vásquez *et al* (2006) para bulbos de ajo cv Perla colocados a 5 °C.

Por otro lado Cantwell (2004) reportó que los bulbos de ajo colocados a 20 °C presentaron baja tasa de respiración ( $5 \text{ mg CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) y además baja tasa de deshidratación por la conservación de la rigidez de sus túnicas protectoras y poca relación superficie volumen, lo cual les proporcionó mayor vida útil en el almacén. Esto podría explicar la menor pérdida de masa fresca en los bulbos almacenados a 25 °C en este ensayo.

En el Cuadro 32 se presenta el análisis de correlación entre el porcentaje de pérdida de masa fresca (%PMF), el índice de brotación (IBR) y la temperatura de almacenaje. Para los 30 dda no hubo correlación significativa entre el %PMF e IB, pero para el %PMF y la temperatura se determinaron correlaciones significativas con coeficiente de 0,4527.

Para los 60 y 90 dda, se determinaron correlaciones altamente significativas entre las 3 variables analizadas lo cual evidencia claramente la relación entre ellas.

Inicialmente el %PMF fue pequeño (7,05%) mientras el IBR fue menor de 0,4, pero el %PMF aumentó rápidamente (14,26 y 20,43%) cuando el IBR superó el 0,7 hasta llegar a 1, lo cual supone una mayor actividad biológica con el uso necesario de agua por aquellas células que experimentan la expansión celular (Orthen, 2001). Por otro lado, la temperatura también afectó el IBR de los bulbos. Evidencias experimentales han demostrado el efecto de las bajas temperaturas sobre el gelado de los bulbos de ajo ‘Blanco’ (Cantwell, 2004) y cebolla (Ramin, 1999).

Cuadro 32. Coeficientes de correlación entre el porcentaje de pérdida de masa fresca (%MF), índice de brotación (IBR) y temperatura a los 30, 60, 90 días después del almacenaje.

Variables	Días después de almacenaje					
	30		60		90	
	IBR	Temp.	IBR	Temp.	IBR	Temp.
%MF	0,0572 ns	0,4527 **	0,3811 **	0,4764 **	0,6008 **	0,6078 **
IBR	---	0,1935 ns	---	0,9191 **	---	0,9531 **

Pearson  $P < 0,05$

Por otra parte, Kouakou *et al.* (2010) indicaron que la mayor pérdida de masa fresca en ñame (*Dioscorea trifida*) ocurrió después de terminar la dormancia, y que ésta reducción de agua está asociada con el necesario incremento de la intensidad respiratoria, así como al rompimiento proteolítico iniciado por las proteasas una vez superado el letargo. De igual forma, Iglesias y Fraga (1998) reportaron que la fisiología del bulbo de cebolla interactúa con el ambiente de almacenaje y afecta la transferencia de vapor de agua porque el crecimiento del brote cambia su forma, provocando tensión y rompimiento de la superficie del tejido, lo cual facilita la pérdida de agua.

Vásquez *et al* (2006) señalaron un aumento en la tasa de respiración en bulbos de ajo almacenados a 5 °C, aunque esta variable no fue determinada en este estudio, ello indica un incremento en la actividad fisiológica del bulbo almacenados a 10 °C lo que contribuyó a la pérdida de masa fresca. Esto pudiera ser una limitante para la conservación de ajo. Las pérdidas de masa fresca determinadas en este ensayo a 25 °C se consideran bajas comparadas con aquellas señaladas por Nuevo y Bautista (2001)

quienes reportaron pérdidas entre 20,7 y 33,7% en bulbos de ajo cv Batangas Red almacenados a temperatura ambiente durante 120 días. Asimismo, Mujica y Pérez (2006) reportaron un 16,3% de pérdida en la masa fresca de ajo morado almacenado en condiciones ambientales ( $25 \pm 2$  °C) durante 120 días.

### ***Contenido de materia seca (MS)***

Los resultados de MS de los bulbos de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 33. Al inicio del almacenaje se determinó una interacción significativa entre las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , correspondiendo la mayor MS (16,92 g.bulbo<sup>-1</sup>) a los bulbos provenientes de las poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y fertilizados con la dosis de 100 kg.ha<sup>-1</sup>.

Para los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) no se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre el contenido de materia seca, pero si se establecieron efectos individuales. En este sentido, a los 30 dda en las densidades se presentaron 3 grupos estadísticos, uno que registró la mayor MS (15,92 g.bulbo<sup>-1</sup>) conformado por los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, seguido por 12,12 g.bulbo<sup>-1</sup> en los bulbos desarrollados en la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y el otro con 8,96 g.bulbo<sup>-1</sup> en aquellos de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Las dosis de  $\text{KNO}_3$  fueron similares estadísticamente con la tendencia más alta (13,16 g.bulbo<sup>-1</sup>) hacia las mayores dosis aplicadas en campo. Para las temperaturas de almacenaje se establecieron 2 grupos estadísticos, uno que registró la mayor MS (12,94 g.bulbo<sup>-1</sup>) en los bulbos colocados a 10 °C, y el otro con 11,72 g.bulbo<sup>-1</sup> en aquellos almacenados a 25 °C.

Para los 60 dda, en las densidades se establecieron 3 grupos estadísticos, uno que presentó la mayor MS (14,96 g.bulbo<sup>-1</sup>) en los bulbos provenientes de la población de 33,33; seguido por 11,67 g.bulbo<sup>-1</sup> en los bulbos desarrollados en la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y el otro con 8,57 g.bulbo<sup>-1</sup> en aquellos de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Con respecto a las dosis de  $\text{KNO}_3$  se determinaron 3 grupos aunque

no existen diferencias estadísticas entre sus medias, uno con la mayor MS (12,64 g.bulbo<sup>-1</sup>) en los bulbos de las parcelas donde se aplicaron 100 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido de 11,51 y 11,05 g.bulbo<sup>-1</sup> para aquellos donde se fertilizó con 25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para las temperaturas de almacenaje los valores de MS fueron similares estadísticamente con la tendencia a presentar el valor más alto de MS (11,9 g.bulbo<sup>-1</sup>) en 10 °C.

Para los 90 dda, en las densidades se establecieron 3 grupos estadísticos, uno que presentó la mayor MS (14,16 g.bulbo<sup>-1</sup>) en los bulbos crecidos en la población de 33,33; seguido por 11,11 g.bulbo<sup>-1</sup> en los bulbos desarrollados en la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y el otro con 8,21 g.bulbo<sup>-1</sup> en aquellos de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>. Con respecto a las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores de MS fueron similares estadísticamente con la tendencia a presentar el valor más alto de MS (11,91 g.bulbo<sup>-1</sup>) en los bulbos de las parcelas donde se aplicaron 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Para las temperaturas de almacenaje los valores de MS fueron similares estadísticamente con la tendencia a registrar el valor más alto de MS (11,32 g.bulbo<sup>-1</sup>) en 25 °C.

Cuadro 33. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el contenido de materia seca del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Contenido de materia seca (g.bulbo <sup>-1</sup> )			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	17,91 a	15,92 a	14,96 a	14,16 a
50	14,44 b	12,12 b	11,67 b	11,11 b
100	10,43 c	8,96 c	8,57 c	8,21 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	12,76 c	11,92 a	11,51 ab	11,10 a
50	14,08 b	11,92 a	11,05 b	10,48 a
100	15,93 a	13,16 a	12,64 a	11,91 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		11,72 b	11,57 a	11,32 a
10		12,94 a	11,90 a	11,01 a
Densd x Dosis	*	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp.		ns	ns	ns
Xm	14,25	12,33	11,73	11,16
CV(%)	13,49	16,48	18,21	19,06

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

El contenido de MS es un parámetro importante para la calidad en bulbos de ajo, especialmente para la industria de deshidratación, debido al impacto directo sobre la energía necesaria para el secado. Además, otros atributos de calidad como la pungencia y la vida útil en el anaquel están relacionados con la cantidad de MS (Hendriksen y Hansen, 2001).

Se ha reportado que este parámetro se utiliza para determinar el grado de productividad del cultivo debido a que el contenido hídrico puede ser fluctuante y distorsionar el balance real de los componentes dentro de los tejidos. El valor obtenido luego de desalojar el agua de los bulbos está conformado por sustancias hidrosolubles y por otras constitutivas de los tejidos (Benkeblia *et al.*, 2005).

Las interacciones encontradas entre las 3 densidades y las 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  para el contenido de MS en los bulbos al momento de la cosecha, coinciden con Ramírez (2001) quien reportó un efecto de las poblaciones de siembra y la aplicación de K sobre el contenido de materia seca en cebolla, señalando que el incremento en los niveles de K redujo las pérdidas de humedad durante el almacenaje, sugiriendo que los más altos niveles de MS pueden ser afectados por un adecuado balance de K. Generalmente, los desbalances nutricionales tienen serias consecuencias para la calidad poscosecha de los cultivos, especialmente por las pérdidas de MS.

Por otro lado, los resultados concuerdan con Pozzo *et al.* (2005), quienes determinaron una reducción significativa en la pérdida de materia seca en bulbos de cebolla almacenados a temperatura ambiente (30 °C), atribuyendo esa respuesta a las reacciones metabólicas exotérmicas y al incremento de la transpiración.

La combinación de los 3 factores evaluados no afectó el contenido de MS en los bulbos durante el almacenamiento, por lo tanto no se registraron pérdidas significativas durante el almacenaje de los bulbos a 25 °C comparado con el tratamiento a 10 °C. Desde el momento de la cosecha hasta los 90 días después del almacenamiento los bulbos colocados en las 2 temperaturas presentaron una pérdida considerable de MS, pasando de un valor promedio de 14,25 a 11,16 g.bulbo<sup>-1</sup>. Esto podría relacionarse con un posible aumento en la tasa de respiración unido a liberación de calor por los bulbos (Brewster, 2001). Además, como la baja temperatura estimuló el desarrollo del brote, reflejado en el mayor índice de brotación, se produjo el consumo de fructosanos y otros polisacáridos presentes en los dientes del bulbo (Hendriksen y Hansen, 2001; Shiomi *et al.*, 2008). Esta respuesta concuerda parcialmente con lo reportado por Vásquez *et al.* (2006) quienes observaron mayores pérdidas de MS en bulbos de ajo almacenados a 5 °C en comparación con otros colocados a 25 °C, atribuyendo este comportamiento a una mayor tasa de respiración y un mayor índice de brotación.

En el Cuadro 34 se presenta el análisis de correlación entre la materia seca, el índice de brotación (IBR) y la temperatura de almacenaje. Para las 3 fechas de muestreo no se determinaron correlaciones significativas entre la MS y el IBR, ni entre MS y temperatura de almacenaje.

Cuadro 34. Coeficientes de correlación entre la materia seca (MS), el índice de brotación (IBR) y la temperatura a los 30, 60, 90 días después del almacenaje.

Variables	Días después de almacenaje					
	30		60		90	
	IBR	Temp.	IBR	Temp.	IBR	Temp.
MS	-0,1804 ns	0,1734 ns	-0,0854 ns	0,0479 ns	-0,0454 ns	-0,0493 ns
IBR	---	0,1935 ns	---	0,9191 **	---	0,9531 **

Pearson  $P < 0,05$

Aunque no fue significativa, la correlación entre la MS y el IBR es negativa, y unido a una alta correlación del IBR con la temperatura parece indicar que las bajas temperaturas inducen la hidrólisis de los fructanos poliméricos presentes en el diente y su transporte hacia el brote (Huchette *et al.*, 2005). Al respecto, Vásquez *et al.* (2006) indicaron que el contenido de azúcares totales en ajo no sufrió cambios antes de la brotación, pero luego se redujo de 7 a 12%.

### ***Sólidos solubles totales (SST)***

El contenido de SST en los bulbos de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presenta en el Cuadro 35. Al momento de la cosecha se determinó una interacción significativa entre las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , correspondiendo el mayor contenido de SST (36,5 °Brix) a los bulbos de la población de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y fertilizadas con la dosis de 25  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . (Anexo 1)

Para los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre el contenido de sólidos solubles totales en los bulbos. Para los 30 dda, el mayor contenido de SST (37,3 °Brix) se alcanzó en los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas  $\text{plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ , fertilizados en campo de 50  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  y almacenados a 25 °C. Para los 60 dda, el mayor contenido de SST se registró en los

bulbos procedentes de la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Para los 90 dda, el mayor contenido de SST se registró en los bulbos provenientes de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Cuadro 35. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre los sólidos solubles totales (SST) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

Sólidos solubles totales (°Brix)				
TRATAMIENTOS	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	34,50 b	34,45 b	35,48 c	34,12 b
50	34,30 b	34,01 c	37,10 a	34,83 a
100	35,65 a	35,64 a	35,84 b	34,83 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	35,66 a	35,49 a	36,17 b	35,14 a
50	34,31 b	34,53 b	36,47 a	34,64 b
100	34,46 b	34,09 c	35,78 c	34,00 c
Temperatura (± 2 °C)				
25		35,70 a	36,60 a	34,60 a
10		33,71 b	35,68 b	34,59 a
Densd x Dosis	*	**	**	**
Densd x Dosis x Temp.		**	**	**
Xm	34,81	34,7	36,14	34,59
CV(%)	1,68	0,30	0,37	0,46

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos presentados se puede observar que la densidad, la aplicación adicional de KNO<sub>3</sub> en el campo y la temperatura de almacenaje tuvieron un efecto significativo sobre el nivel de SST en ajo. Los bulbos provenientes de las plantas crecidas en las parcelas con mayores poblaciones presentaron la mayor cantidad de

SST en comparación con aquellos desarrollados en las poblaciones menos densas; mientras que en las dosis más bajas de  $\text{KNO}_3$  y el almacenaje a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  favorecieron los niveles de SST en los bulbos, aunque con valores muy similares entre las 2 temperaturas al final del período de almacenamiento. Ramírez (2001) encontró mayores niveles de SST en bulbos de cebolla, en los tratamientos que recibieron  $300\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{KCl}$  y que fueron almacenados durante 45 días. Asimismo, Balibrea *et al.* (2006), reportaron que un incremento de SST en frutos de tomates dependió de la alta translocación y acumulación de azúcar, en la cual el K juega un rol muy importante.

El alto contenido de SST encontrado en los bulbos de ajo con la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  en el campo confirma que el K puede jugar un importante rol en la configuración del perfil de calidad en ajo. El potasio es el catión más abundante presente en la savia del floema (más del 80% del total de cationes) como consecuencia del azúcar cargado y los mecanismos o procesos de transporte a través del floema en los órganos de demanda (Cakmak, 2005). Es bien conocido que el K cumple una función fundamental en el metabolismo de los carbohidratos y la fotosíntesis (Marschner, 2002), y como consecuencia, una óptima suplencia de K determina un mejor contenido de azúcar en los órganos de demanda (Balibrea *et al.* 2006).

El contenido de SST es un importante factor de calidad para los productores de *Allium*, aún cuando el tamaño del bulbo es un rasgo determinante para la calidad del ajo, un mayor tamaño se traduce en mayor contenido de agua y consecuentemente menor cantidad de SST (Santamaría *et al.*, 2004). Por otra parte, se ha reportado que este parámetro se correlaciona con el período de almacenaje, de forma tal que variedades de cebolla con valores superiores al 15% de SST pueden ser almacenadas por 6 meses a  $0\text{ }^\circ\text{C}$  y 60-65% de humedad relativa (Cantwell, 2004).

Sin embargo, en esta investigación aunque se registraron SST por encima de  $30\text{ }^\circ\text{Brix}$  los bulbos de ajo almacenados a  $10\text{ }^\circ\text{C}$  y 85% HR sólo se mantuvieron comercialmente aceptables durante un mes ya que a partir de ese momento comenzó el desarrollo del brote con la consiguiente pérdida de masa fresca, materia seca y firmeza. Al contrario de lo ocurrido con los bulbos almacenados a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  los cuales

preservaron además del contenido de SST las dos características mencionadas anteriormente hasta el final del período de almacenaje.

En general, a los 60 dda se observaron los mayores valores de SST tanto para los bulbos almacenados a 25 °C como para aquellos colocados a 10 °C, en los diferentes tratamientos de densidad y dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo. Se ha sugerido que los altos niveles de fructanos y otros polisacáridos pueden ser usados como un criterio real para correlacionar la capacidad de almacenamiento en ajo (Hendriksen y Hansen, 2001) y cebolla (Ko *et al.*, 2002), debido a su rol osmoregulador en el proceso respiratorio (Orthen, 2001).

Los valores de SST determinados en este ensayo durante el período de almacenaje bajo las dos condiciones utilizadas fueron similares a aquellos reportados por Mujica y Pérez (2006) quienes señalaron un contenido de 31,15 °Brix en bulbos de ajo morado almacenados a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 120 días.

En esta investigación los niveles de SST presentaron pocas variaciones entre el momento de la cosecha y el final del período de almacenaje. No obstante, a los 30 y 60 dda se registraron diferencias significativas entre las dos condiciones de almacenamiento. Estos resultados están en concordancia con otros reportados en cebolla por Ramin (1999) quien no encontró efecto de las altas temperaturas (25 y 30 °C) sobre los SST de los bulbos almacenados durante 120 días. De igual manera, Benkeblia *et al.*, (2005) encontraron pocas alteraciones en los fructo-oligosacáridos de cebolla durante el almacenaje. Estos autores indicaron que algunos azúcares como la sacarosa juegan un rol de balance en el catabolismo de los carbohidratos y eso mantiene un nivel específico de glucosa y fructosa evitando su acumulación. Otros estudios han mostrado la función osmoreguladora de los fructanos en bulbos de *Lachenalia minima* (Orthen, 2001).

Sin embargo, los datos no concuerdan con Vásquez *et al* (2006) quienes señalaron una reducción en los niveles de SST en ajo de 36 a 31 °Brix durante el almacenaje a 5 °C luego de 180 días.

Por otra parte, las diferencias detectadas entre las 2 temperaturas de almacenaje sobre los SST a los 30 y 60 dda se asocia con una mayor actividad metabólica de los bulbos a 10 °C producto del rompimiento del letargo y expresado

con la brotación de los dientes. Kouakou *et al.* (2010) han sugerido una desigual actividad enzimática en la hidrólisis de los carbohidratos durante el almacenaje a altas y bajas temperaturas. El metabolismo de los azúcares está fuertemente asociado a los estados de letargo y brotación, y las variaciones cuantitativas en los constituyentes de los carbohidratos representan los cambios bioquímicos más importantes durante el almacenaje de los bulbos (Shiomi *et al.*, 2008).

### ***Acidez total titulable (ATT)***

Los resultados de ATT de los bulbos del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 36. Al momento de la cosecha se determinó una interacción significativa entre las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , correspondiendo la mayor ATT (0,38% de ácido pirúvico) a los bulbos provenientes de la población de 50 plantas. $\text{m}^{-2}$  y fertilizados con 25  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Para el almacenaje a los 60 y 90 dda se determinó una interacción significativa entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre la ATT de los bulbos, pero esto no ocurrió a los 30 dda donde se observaron efectos individuales. En este sentido, para el caso de las densidades, a los 30 dda se establecieron 3 grupos aunque sus medias fueron iguales desde el punto de vista estadístico, uno que presentó la mayor ATT (0,19 % de ácido pirúvico) en los bulbos crecidos en la población de 50 plantas. $\text{m}^{-2}$ ; seguido por 0,18 % de ácido pirúvico en los bulbos desarrollados en la densidad de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y el otro con 0,17 % de ácido pirúvico en aquellos correspondientes a la densidad de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$ . Para las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores de ATT fueron similares estadísticamente con la tendencia a presentar la ATT más alta (0,19 % de ácido pirúvico) en los bulbos de las parcelas fertilizadas con 25  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Para la temperatura de almacenaje, los valores de ATT fueron iguales estadísticamente con la tendencia a registrar la ATT más alta (0,19 % de ácido pirúvico) en los bulbos almacenados a 10 °C.

Para los 60 dda, el mayor contenido de ácido pirúvico (0,23 %) se registró en los bulbos provenientes de la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 50 kg.h<sup>-1</sup> y almacenados a 25 °C. Finalmente para los 90 dda, la mayor ATT (0,23 % ácido pirúvico) se alcanzó en los bulbos procedentes de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 25 °C. (Anexo 1).

Cuadro 36. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre la acidez total titulable (ATT) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Acidez total titulable (% Ácido pirúvico)			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	0,23 b	0,18 ab	0,16 b	0,17 b
50	0,30 a	0,19 a	0,17 a	0,17 ab
100	0,27 a	0,17 b	0,19 a	0,19 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	0,29 a	0,19 a	0,17 a	0,18 a
50	0,27 a	0,18 a	0,18 a	0,18 a
100	0,24 b	0,18 a	0,17 a	0,17 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		0,18 a	0,18 a	0,19 a
10		0,19 a	0,17 a	0,17 b
Densd x Dosis	*	ns	ns	*
Densd x Dosis x Temp.		ns	*	**
Xm	0,27	0,18	0,17	0,18
CV(%)	3,79	8,01	7,99	6,93

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los datos presentados se puede observar que al momento de la cosecha las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo tuvieron un efecto significativo sobre la ATT del ajo morado. Los bulbos de las plantas crecidas en las parcelas con

mayores poblaciones y fertilizadas con las menores dosis presentaron el mayor porcentaje de ácido pirúvico.

Durante el período de almacenaje, la densidad, dosis de  $\text{KNO}_3$  y la temperatura afectaron la ATT a los 60 y 90 dda, observándose que los mayores contenidos de ácido pirúvico se ubicaron en los bulbos provenientes de las poblaciones más densas, fertilizadas en campo con las dosis intermedias y almacenados a 25 °C. Asimismo, es interesante destacar que los contenidos de ATT al momento de la cosecha fueron superiores con valores de 0,27 % de ácido pirúvico, pero se redujeron sustancialmente hasta 0,18 % al final del período de almacenaje, donde se estableció un marcado efecto de la temperatura, encontrándose la mejor respuesta a 25 °C.

El efecto del  $\text{KNO}_3$  sobre la ATT pudiera ser explicado por el rol del K en la formación de los precursores del sabor (Cisteína). Como este compuesto es producido durante la reducción del sulfato, la acción del K podría estar relacionada con la activación de las enzimas envueltas en esta reacción (Chang y Randle, 2004). De acuerdo con Marschner (2002) el K activa más de 80 enzimas en la fisiología celular. Ruíz *et al.* (1999) reportó una mayor actividad de la enzima kinasa piruvato a medida que aumentó los niveles de K (de 0,075 a 0,30  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) en pepinos cultivados en potes con suelos calcáreos.

Los valores de ATT encontrados en este ensayo son similares a aquellos reportados por Mujica y Pérez (2006) quienes registraron un 0,19% de ácido pirúvico en bulbos de ajo morado almacenado a temperatura ambiente (25 °C) durante 120 días. Asimismo, concuerdan con aquellos obtenidos por Pozzo *et al.* (2005), donde se reportó una caída pronunciada en el contenido de ácido pirúvico en bulbos de cebolla luego de 90 días de almacenaje a 25 °C.

A medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento la reducción en ATT de los bulbos colocados a 10 °C fue siempre superior que aquellos almacenados a 25 °C. Esta disminución pudiera estar relacionada con una mayor tasa respiratoria de los bulbos a baja temperatura debido al consumo de muchos ácidos orgánicos por el rompimiento del letargo y la consiguiente actividad de crecimiento del brote dentro

del bulbo, el cual generalmente ocurre entre 5 y 15 °C dependiendo del material genético (Tanaka *et al.*, 1985; Shiomi *et al.*, 2008).

Estos resultados coinciden con aquellos obtenidos por Ramin (1999) quien encontró que con el incremento en el tiempo de almacenaje (120 días), la reducción en la ATT de los bulbos de cebolla almacenados a 2 °C fue mayor a otros colocados a 25 y 30 °C. Una respuesta similar fue reportada por Choi *et al.* (2008) en ajo almacenado a 1 y 20 °C. En tanto que en otros ensayos se han registrado incrementos en el contenido de ácido pirúvico en cebolla almacenada a temperatura ambiente (25 °C) durante 150 días (Coolong y Randle, 2008).

Zambrano *et al.*, (1997) encontraron altos niveles de ácido pirúvico en cebolla indicando que la mejor calidad poscosecha en almacenaje estuvo asociada con estos valores. Estas observaciones pueden explicar claramente que la pungencia del bulbo de ajo está relacionada con la concentración de ácido pirúvico y esta característica está asociada a su vez con una buena calidad durante el almacenaje (Wall y Corgan, 1994).

En ajo la pungencia es producida por la hidrólisis de los compuestos precursores del aroma (S-alk(en)yl-L-cystein sulfóxido), cuando las células son dañadas mecánicamente, reacción que es catalizada por la enzima allinasa y produce ácido pirúvico, amonio y muchos sulfuros volátiles (Yoo *et al.*, 2006). Así, la pungencia del ajo puede ser estimada por el contenido de ácido pirúvico (Yoo *et al.*, 2001).

#### ***Relación sólidos solubles totales/acidez total titulable (SST/ATT)***

La relación entre SST/ATT de los bulbos del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presenta en el Cuadro 37. Al momento de la cosecha se determinó una interacción significativa entre las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo, correspondiendo la mejor relación SST/ATT (168,5) a los bulbos provenientes de la población de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> combinada con la aplicación de 25 kg.ha<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Para los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre la relación SST/ATT en los bulbos. Para los 30 dda, la mayor relación SST/ATT (255) se alcanzó en los bulbos provenientes de la densidad de 100 plantas plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 25 °C. Para los 60 dda, la mayor relación SST/ATT (267) correspondió a los bulbos procedentes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. Finalmente, para los 90 dda la mayor relación SST/ATT (237,4) se alcanzó en los bulbos provenientes de la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Cuadro 37. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre la relación sólidos solubles totales/acidez total titulable (SST/ATT) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Cosecha	Relación SST/ATT		
		Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	150,2 a	183,9 b	223,1 a	194,8 a
50	114,2 b	175,1 b	211,3 a	197,2 a
100	128,0 b	205,7 a	191,6 b	185,3 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	129,3 ab	184,0 a	210,7 a	195,2 a
50	123,3 b	190,8 a	204,6 a	186,0 a
100	139,9 a	189,8 a	210,9 a	196,2 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		198,6 a	205,7 a	179,0 b
10		177,6 b	211,7 a	205,9 a
Densd x Dosis	*	*	ns	*
Densd x Dosis x Temp.		**	*	*
Xm	130,8	188,2	208,7	192,4
CV(%)	3,49	8,73	8,31	7,41

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los resultados presentados en el Cuadro 37 se puede observar que al momento de la cosecha las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  tuvieron un efecto significativo sobre la relación SST/ATT del ajo morado. Los bulbos de las plantas crecidas en las parcelas con menores poblaciones y fertilizadas con las mayores dosis presentaron la mejor respuesta para esta variable.

Asimismo, durante el almacenaje la densidad, la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  en el campo y la temperatura de almacenaje afectaron la relación SST/ATT de los bulbos. A los 60 dda tanto a 25 °C como a 10 °C se observó la mayor relación SST/ATT en los bulbos y ello se correspondió con los mayores valores de SST y menores valores de ATT para esa misma fecha de muestreo y condiciones de almacenaje, por lo tanto las variaciones ocurridas en el contenido de SST y de ATT se corresponden con los cambios producidos en la relación establecida entre ellos. Asimismo, al final del período de almacenaje (90 dda) se observó un marcado efecto de la temperatura sobre la relación SST/ATT y ello se asoció con el mismo efecto producido para la ATT, registrándose la mayor relación SST/ATT y la menor ATT a 10 °C.

De igual manera, la relación SST/ATT de los bulbos registró un aumento significativo en las dos condiciones de almacenaje. No obstante, este incremento fue sostenido durante el transcurso del tiempo a 10 °C comparado con las muestras colocadas a 25 °C. Esta respuesta se corresponde con una reducción en los niveles de ATT en esas condiciones y podría estar correlacionada con una mayor actividad metabólica de los bulbos a baja temperatura como consecuencia de la ruptura de la dormancia (Tanaka *et al.*, 1985).

La duplicación de las dosis de  $\text{KNO}_3$  de 50 a 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  produjo un ligero incremento en la relación SST/ATT de 123,31 a 139,95 al momento de la cosecha. Esta ampliamente reconocido que el K influye sobre el mantenimiento de la electroneutralidad de los ácidos orgánicos en los productos hortícolas (Dorais *et al.*, 2008). Un correcto balance entre el contenido de azúcar y ácidos es crucial para evitar la alteración durante la etapa de almacenaje, y también es importante para la comercialización en mercado fresco porque esta relación determina el sabor del mismo (Fanasca *et al.*, 2006).

Por otra parte, la relación SST/ATT encontrada en este ensayo es muy superior a la reportada por Mujica y Pérez (2006) quienes determinaron un menor contenido de SST (31,15) en bulbos de ajo almacenado a temperatura ambiente (25 °C) durante 120 días, y por consiguiente una menor relación SST/ATT (162,2). Esto pudiera ser una respuesta natural en los procesos de maduración de los bulbos de *Allium*.

### *pH*

Los resultados del pH de los bulbos de ajo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 38. Al momento de la cosecha se determinó una interacción altamente significativa entre las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub>, correspondiendo el mayor pH (6,8) a los bulbos de las poblaciones con 100 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con la aplicación de 50 kg.ha<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Para los 30, 60 y 90 días después del almacenaje (dda) se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre el pH de los bulbos. Para los 30 dda, el mayor pH (6,93) se alcanzó en los bulbos provenientes de la densidad de 100 plantas plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. Para los 60 dda, el mayor pH (6,87) correspondió a los bulbos procedentes de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Finalmente, para los 90 dda el mayor pH (6,69) se alcanzó en los bulbos provenientes de la densidad de 50 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 25 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Cuadro 38. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el pH del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	pH			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	6,29 c	6,58 b	6,36 c	6,52 a
50	6,36 b	6,50 c	6,47 b	6,45 b
100	6,56 a	6,69 a	6,57 a	6,41 c
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	6,26 c	6,58 b	6,54 a	6,45 b
50	6,60 a	6,55 c	6,44 b	6,44 b
100	6,34 b	6,64 a	6,42 c	6,49 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		6,50 b	6,42 b	6,38 b
10		6,68 a	6,51 a	6,54 a
Densd x Dosis	**	**	**	**
Densd x Dosis x Temp		**	**	**
Xm	6,40	6,59	6,47	6,46
CV(%)	5,0	0,20	0,20	0,23

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  
P < 0,05

En el Cuadro 38 se puede observar que al momento de la cosecha las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> tuvieron efecto significativo sobre el pH de los bulbos del ajo morado. Asimismo, durante el almacenaje la densidad, la aplicación adicional de KNO<sub>3</sub> en el campo y la temperatura de almacenaje afectaron esta variable. De manera general, los bulbos desarrollados en las parcelas con mayores poblaciones, fertilizadas en campo con las mayores dosis y almacenados a 10 °C presentaron los mayores valores de pH.

Por otra parte, el pH de los bulbos registró cambios significativos durante el almacenaje tanto a 25 °C como 10 °C. Con el transcurso del tiempo de almacenamiento la reducción en el pH de los bulbos colocados a 10 °C fue siempre

superior que aquellos colocados a 25 °C, pasando de 6,68 a los 30 dda hasta 6,54 a los 90 dda alcanzando una reducción de 2,09%; mientras que a 25 °C pasó de 6,5 a 6,38 durante ese mismo período, lo que significó una disminución de 1,8%. Indudablemente que estas reducciones en los ácidos orgánicos afectan el sabor de los bulbos de ajo y pudieran disminuir su calidad (Oliveira *et al.*, 2003).

Estos resultados difieren de Pozzo *et al.* (2005) quienes señalaron la estabilidad del pH en cultivares de cebolla durante el período de almacenaje, pero observaron la existencia de una alteración en la actividad enzimática de los bulbos bajo temperatura ambiente (25 – 30 °C). Esto podría explicar las variaciones en el pH de los bulbos de ajo almacenados a 25 °C en este ensayo.

De igual forma, la respuesta no concuerda con los resultados obtenidos por Ramin (1999) quien no encontró efecto de las altas (25 y 30 °C) y baja temperatura (2 °C) sobre el pH de los bulbos de cebolla almacenados durante 120 días. Es probable que la inducción del crecimiento del brote de ajo por bajas temperaturas provoque el consumo de los ácidos orgánicos con la consiguiente reducción en los niveles de pH (Shiomi *et al.*, 2008).

Los ácidos orgánicos no volátiles constituyen el segundo componente más importante en el sabor del ajo, después de los azúcares solubles (Oliveira *et al.*, 2003). El ácido más predominante en *Allium* y que determina la acidez titulable es el ácido pirúvico, el cual regula el pH celular y puede influir sobre el sabor durante el almacenamiento (Yoo *et al.*, 2001; Pozzo *et al.*, 2005).

### ***Contenido de piruvato***

El contenido de piruvato de los bulbos de ajo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presenta en el Cuadro 39. Al momento de la cosecha no se determinó interacción significativa de las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> sobre el contenido de piruvato, pero si hubo efectos individuales. De esta manera, para las densidades los valores más altos de piruvato (10,51 μmol.100 g<sup>-1</sup>) se registraron en los bulbos de las poblaciones de

33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, seguido por 6,60 y 6,03 μmol.100 g<sup>-1</sup> en aquellos bulbos provenientes de las densidades de 100 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. Las dosis de KNO<sub>3</sub> no afectaron estadísticamente los niveles de piruvato en los bulbos con tendencia a presentar los valores más altos (7,95 μmol.100 g<sup>-1</sup>) en las dosis de 25 kg.ha<sup>-1</sup>.

Para los 60 y 90 días después del almacenaje (dda) se determinaron interacciones significativas entre la densidad, las dosis y la temperatura sobre el contenido de piruvato en los bulbos, pero esto no ocurrió para los 30 dda. En este sentido, para el caso de las densidades, a los 30 dda los valores de piruvato fueron estadísticamente iguales con la tendencia a registrar los niveles más altos (9,44 μmol.100 g<sup>-1</sup>) en los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas plantas.m<sup>-2</sup>. Para las dosis de KNO<sub>3</sub> se determinaron 3 grupos estadísticos aunque no hubo diferencias entre sus medias, uno con 9,78 μmol.100 g<sup>-1</sup> en los bulbos de las parcelas fertilizados en campo con 25 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido de 8,3 y 7,92 μmol.100 g<sup>-1</sup> para los bulbos procedentes de las parcelas fertilizadas en campo con 100 y 50 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para los 60 dda, el mayor contenido de piruvato (15,87 μmol.100 g<sup>-1</sup>) se registró en los bulbos provenientes de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 100 kg.ha<sup>-1</sup> y almacenados a 10 °C. Finalmente para los 90 dda, el mayor nivel de piruvato (24,6 μmol.100 g<sup>-1</sup>) se alcanzó en los bulbos procedentes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 10 °C. (Anexo 1).

Cuadro 39. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el contenido de piruvato en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Contenido de piruvato (μmol.100g <sup>-1</sup> )			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	10,5 a	9,44 a	11,0 a	22,4 a
50	6,03 b	8,46 a	9,69 b	18,3 b
100	6,60 b	8,11 a	10,2 b	19,2 b
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	7,95 a	9,78 a	10,1 a	21,1 a
50	7,41 a	7,92 b	10,2 a	19,2 a
100	7,87 a	8,30 ab	10,6 a	19,6 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		8,72 a	7,73 b	19,2 a
10		8,62 a	12,9 a	20,7 a
Densd x Dosis	ns	ns	**	*
Densd x Dosis x Temp		ns	**	*
Xm	7,72	8,67	10,35	19,9
CV(%)	11,3	16,45	6,58	11,1

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los resultados presentados se puede observar que las diferentes densidades, las dosis de KNO<sub>3</sub> y la temperatura de almacenaje afectaron el contenido de piruvato de los bulbos del ajo a partir de los 60 dda, registrando un aumento significativo hacia el final del período de almacenamiento, tanto a 25 °C como a 10 °C. Sin embargo, con el transcurso del tiempo de almacenaje el incremento en el contenido de piruvato de los bulbos colocados a 10 °C comenzó a los 60 dda y continuó hasta los 90 dda, pasando de 8,62 μmol.100 g<sup>-1</sup> a los 30 dda hasta 20, 7 μmol.100 g<sup>-1</sup> al final del período de almacenamiento, lo que significó un aumento de 58%; mientras que en los bulbos colocados a 25 °C el incremento se observó a los 90 dda pasando de 8,72 a 19,2 μmol.100 g<sup>-1</sup> en el tiempo indicado, alcanzando un aumento de 54%.

Los resultados sugieren que la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  en campo pudiera ser utilizada para incrementar la pungencia del ajo durante el almacenaje, particularmente a temperatura ambiente ( $25\text{ }^\circ\text{C}$ ) en la cual otras variables de calidad como la firmeza y el índice de brotación se mantienen comercialmente aceptables. Los aumentos en la intensidad del aroma y el sabor en bulbos de cebolla durante el almacenaje han sido observados previamente (Wall y Corgan, 1994, McCallum *et al.*, 2005 y Coolong y Randle, 2008).

El incremento de la pungencia de los bulbos observado en este ensayo, podría estar asociado con la actividad enzimática de estos órganos durante el almacenaje a bajas o altas temperaturas (Lósak *et al.*, 2010). Se ha establecido que los niveles de piruvato están relacionados con los precursores del aroma y el sabor de *Allium* y que la enzima S-alk(en)yl cystein sulfóxido (precursora de éstos) puede ser sintetizada durante el almacenaje provocando un incremento en la pungencia (Lancaster *et al.*, 2000; Randle, 2005). Además, el efecto del fertilizante utilizado ( $\text{KNO}_3$ ) pudiera también contribuir con la activación de esta enzima, ya ha sido demostrado que el N afecta el potencial del sabor y el aroma en cebolla (McCallum *et al.*, 2005).

### ***Índice de color (L)***

El color es una característica física importante para determinar la eficiencia de un tratamiento durante el almacenaje, las variaciones en el mismo pueden indicar maduración, deterioro o senescencia del producto hortícola (McGuire, 2002). Este parámetro se puede medir cuantitativamente con espectrofotómetros que utilizan el sistema CIELAB para obtener los índices L,  $a^*$  y  $b^*$  con los cuales se calcula el ángulo hue y el chroma.

Los resultados del índice del color (L) de los bulbos de ajo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  y 70% HR) y a  $10\text{ }^\circ\text{C}$  con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 40.

Al momento de la cosecha los tratamientos no afectaron significativamente el índice de L. En este sentido, los valores de L fueron similares desde el punto de vista

estadístico tanto para las densidades como para las dosis de  $\text{KNO}_3$ . Se observó la tendencia a presentar los valores de L más altos (56,65) tanto en los bulbos provenientes de las poblaciones de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  como en aquellos crecidos en las parcelas donde se aplicaron 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Para los 30, 60 y 90 después del almacenaje (dda) la densidad, las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo y la temperatura no afectaron estadísticamente el índice L de los bulbos. Al respecto, a los 30 dda en las densidades los valores de L fueron similares desde el punto de vista estadístico, se notó la tendencia a registrar los valores de L más altos (52,34) en los bulbos desarrollados en las poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ; mientras que en las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores de L más altos (52,24) se observaron en aquellos bulbos correspondientes a las aplicaciones de 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  en campo. En la temperatura la tendencia a presentar el valor de L más alto (52,49) se detectó en los bulbos colocados a 10 °C.

De igual manera, a los 60 dda en las densidades se registró la tendencia a presentar los valores más altos de L (56,58) en los bulbos crecidos en la poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ; mientras que en las dosis de  $\text{KNO}_3$  el valor más alto de L (57,64) correspondió a los bulbos procedentes de las parcelas fertilizadas con 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En la temperatura la tendencia a presentar el valor más alto de L (56,73) se detectó en los bulbos colocados a 10 °C.

Para los 90 dda, en las densidades la tendencia a presentar los valores más altos de L (57,14) se ubicó en los bulbos de las poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ; en tanto que en las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores más altos de L (57,21) correspondieron a los bulbos desarrollados en las parcelas con aplicaciones de 50  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En la temperatura la tendencia a presentar el valor más alto de L (57,13) se detectó en los bulbos colocados a 10 °C.

Cuadro 40. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el índice de color (L) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

Índice de color (L)				
TRATAMIENTOS	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	56,49 a	52,34 a	56,58 a	57,14 a
50	55,34 a	50,32 a	55,75 a	56,33 a
100	56,65 a	52,08 a	56,55 a	56,66 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	56,15 a	51,96 a	55,60 a	56,59 a
50	56,65 a	52,24 a	57,64 a	57,21 a
100	55,67 a	50,53 a	55,64 a	56,34 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		50,67 a	55,85 a	56,30 a
10		52,49 a	56,73 a	57,13 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp.		ns	ns	ns
Xm	56,16	51,58	56,29	56,71
CV(%)	3,76	5,19	4,97	3,10

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

### *Índice de color (hue)*

Los datos del índice de color hue durante el almacenaje de los bulbos del ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 41.

Al momento de la cosecha las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> no afectaron significativamente el índice hue. En este sentido, los valores de hue fueron similares desde el punto de vista estadístico tanto para las densidades como para las dosis de KNO<sub>3</sub>. Se observó la tendencia a presentar los valores más altos de hue (42,17) en los

bulbos provenientes de las poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y valores de 43,05 en aquellos crecidos en las parcelas donde se aplicaron 100 kg.ha<sup>-1</sup>.

Para los 30, 60 y 90 después del almacenaje (dda) no se determinó una interacción significativa entre la densidad, las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo y la temperatura sobre el índice hue de los bulbos. Al respecto, a los 30 dda en las densidades los valores de hue fueron similares desde el punto de vista estadístico, se notó la tendencia a registrar los valores de hue más altos (57,35) en los bulbos desarrollados en las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>; mientras que en las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores de hue más altos (57,53) se observaron en aquellos bulbos correspondientes a las aplicaciones de 50 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> en campo. En la temperatura la tendencia a presentar el valor de hue más alto (55,32) se detectó en los bulbos colocados a 25 °C.

Para los 60 dda se establecieron efectos individuales para las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub>, pero esto no se observó en la temperatura. Al respecto, en las densidades se determinaron 3 grupos estadísticos aunque no hubo diferencias entre sus medias, uno que registró los valores más altos de hue (56,75) en los bulbos crecidos en la poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, seguido de 52,99 y 49,66 en los bulbos procedentes de las densidades de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de KNO<sub>3</sub> se establecieron 3 grupos estadísticos aunque no hubo diferencias entre sus medias, uno que registró los valores más altos de hue (56,11) en los bulbos procedentes de las parcelas fertilizadas con 50 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido de 52,28 y 51,02 en aquellos bulbos coorespondientes a las parcelas fertilizadas con 100 y 25 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En la temperatura la tendencia a presentar el valor más alto de hue (53,54) se detectó en los bulbos colocados a 10 °C.

Para los 90 dda, en las densidades se establecieron 2 grupos claramente definidos, uno con el mayor valor de hue (61,47) en los bulbos de las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y el otro con 57,65 y 54,83 para los bulbos de las densidades de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores de hue resultaron estadísticamente iguales con la tendencia a registrar los valores más altos de hue (59,28) en los bulbos desarrollados en las parcelas con aplicaciones de 50 kg.ha<sup>-1</sup>. En la temperatura se determinaron 2 grupos estadísticos bien definidos, uno con el mayor

valor de hue (59,47) que correspondió a los bulbos colocados a 10 °C y el otro con 56,50 para los bulbos almacenados a 25 °C.

Cuadro 41. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el índice de color (Hue) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Cosecha	Índice de color (Hue)		
		Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	42,17 a	56,53 a	52,99 ab	57,65 b
50	39,67 a	50,52 a	49,66 b	54,83 b
100	40,85 a	57,35 a	56,75 a	61,47 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	39,22 a	53,41 a	51,02 b	56,35 a
50	40,43 a	57,53 a	56,11 a	59,28 a
100	43,05 a	53,47 a	52,28 ab	58,32 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		55,32 a	52,73 a	56,50 b
10		54,28 a	53,54 a	59,47 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp.		ns	ns	ns
Xm	40,9	54,8	53,14	57,98
CV(%)	13,45	12,73	7,18	4,98

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

### *Índice de color (Chroma)*

Los resultados del índice de color (Chroma) de los bulbos de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 42.

Al momento de la cosecha las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo no afectaron significativamente el chroma de los bulbos. En este sentido, los valores de chroma fueron similares desde el punto de vista estadístico tanto para las densidades como para las dosis de  $\text{KNO}_3$ . Se observó la tendencia a presentar los valores más altos de chroma (10,56) en los bulbos provenientes de las poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y valores de 10,68 en aquellos crecidos en las parcelas donde se aplicaron 25 kg.ha<sup>-1</sup>.

Para los 30, 60 y 90 después del almacenaje (dda) no se determinó una interacción significativa entre la densidad, las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo y la temperatura sobre el índice chroma de los bulbos. Al respecto, a los 30 dda en las densidades se determinaron 3 grupos estadísticos aunque no hubo diferencias entre sus medias, uno que registró los valores más altos de chroma (11,37) en los bulbos crecidos en la poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, seguido de 11,26 y 10,37 en los bulbos procedentes de las densidades de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores de chroma fueron similares estadísticamente, con la tendencia a registrar los valores más altos de chroma (11,01) en los bulbos correspondientes a las parcelas con aplicaciones de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de  $\text{KNO}_3$  en campo. En la temperatura se establecieron 2 grupos bien definidos, uno con el mayor valor de chroma (11,77) para los bulbos colocados a 10 °C y el otro con 10,23 en los bulbos almacenados a 25 °C.

Para los 60 dda, los valores de chroma resultaron iguales estadísticamente para las densidades, dosis de  $\text{KNO}_3$  y temperatura. Se observó la tendencia a registrar los valores más altos de chroma (11,80) en los bulbos provenientes de las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>; 11,72 en aquellos correspondientes a las parcelas con aplicaciones de 50 kg.ha<sup>-1</sup> y 11,89 en los bulbos almacenados a 10 °C.

Para los 90 dda, en las densidades se establecieron 3 grupos estadísticos aunque sin diferencias entre sus medias. Uno que registró los valores más altos de chroma con 12,90 en los bulbos de las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, seguido por 12,74 y 11,96 para los bulbos de las densidades de 33,33 y 50 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de  $\text{KNO}_3$  los valores de chroma resultaron estadísticamente iguales con la tendencia a registrar los valores más altos (12,71) en

los bulbos desarrollados en las parcelas con aplicaciones de 25 kg.ha<sup>-1</sup>. En la temperatura los valores de chroma fueron similares desde el punto de vista estadístico, con la tendencia a presentar los valores más altos (12,81) en los bulbos almacenados a 10 °C.

Cuadro 42. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el índice de color (Chroma) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Índice de color (Chroma)			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	10,56 a	11,26 ab	11,75 a	12,74 ab
50	10,22 a	10,37 b	11,18 a	11,96 b
100	10,38 a	11,37 a	11,80 a	12,90 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	10,68 a	10,99 a	11,52 a	12,71 a
50	10,00 a	11,00 a	11,72 a	12,46 a
100	10,48 a	11,01 a	11,49 a	12,42 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		10,23 b	11,26 a	12,26 a
10		11,77 a	11,89 a	12,81 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp.		ns	ns	ns
Xm	10,39	11,06	11,57	12,53
CV(%)	8,82	7,88	8,47	6,42

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

En los resultados presentados en los Cuadros 40, 41 y 42 se muestra que las densidades, las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo y la temperatura no tuvieron un efecto significativo sobre los índices de color (L, hue y chroma) de los bulbos del ajo morado durante el almacenaje a 25 °C y 10 °C. Esta respuesta no coincide con Gaviola y Lipinski (2008) quienes observaron una tendencia a un mayor color rojo

púrpura con el aumento en las dosis de nitrógeno (de 0 a 300 kg.ha<sup>-1</sup>) en los cvs Sureño, Rubí y Gostoso.

De manera general, los valores de L y chroma en los bulbos registraron pocos cambios, aunque se observó un leve incremento de ellos a medida que transcurrió el tiempo de almacenaje, tanto a 25 °C como a 10 °C. Al final del almacenamiento, los bulbos colocados a 25 °C (Hue 56,5) presentaron mayor color púrpura que a 10 °C, aunque en ambas condiciones hubo pérdida de intensidad del color desde la cosecha (Hue 40,9) hasta el final del almacenaje (Hue 57,9). Los valores de chroma registraron un incremento del 17% aproximadamente dda. No obstante, esto implicó pocos cambios tanto en el ángulo como en la pureza del color, manteniendo la coloración morada característica de este genotipo.

Estos resultados concuerdan con Vásquez *et al.* (2006), al reportar que los bulbos de ajo cv Perla almacenados a 0 °C 70% HR, 20 °C y temperatura ambiente (25 ± 3 °C) no mostraron cambios significativos en los valores de hue durante el almacenaje. Pero la respuesta difiere con los resultados obtenidos por Pezzutti y Crapiste (1997) quienes encontraron pérdidas del color de los bulbos de ajo por efecto de las altas temperaturas (25 y 30 °C).

Por otro lado, en el almacenaje a 10 °C se observó un leve incremento en los valores de hue y chroma con respecto al inicio del ensayo, y éste se correspondió con un aumento en el índice de brotación de los bulbos. Esto sugiere que el cambio de color a baja temperatura pudiera estar asociado a los cambios metabólicos producto del crecimiento del brote, tales como la hidrólisis de fructanos y su transporte hacia el mismo (Kubec *et al.*, 2007; Shiomi *et al.*, 2008).

En esta investigación el color de los bulbos, evaluado a través de los índices de L, hue y chroma no registró cambios significativos durante el almacenaje en las dos condiciones utilizadas. Esto significa que desde el punto de vista del color, en esas condiciones los bulbos mantuvieron su apariencia externa de manera aceptable; no obstante, a 10 °C los bulbos presentaron reducciones importantes en las otras variables de calidad (firmeza e índice de brotación). Por lo tanto, los ajos almacenados a 25 °C mantuvieron una calidad adecuada lo que permite que puedan ser comercializados en el mercado fresco.

### *Firmeza del bulbo*

Cuando se realizó la prueba de resistencia a la deformación, la pérdida de firmeza estuvo asociada con una mayor flexibilidad del tejido. En este sentido, los tratamientos que mostraron una menor firmeza durante el almacenaje mostraron una deformación mayor.

En este sentido, los resultados de la firmeza de los bulbos de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de  $\text{KNO}_3$  y almacenado a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presenta en el Cuadro 43.

Al momento de la cosecha, las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo afectaron individualmente la firmeza de los bulbos, pero no hubo interacción entre ellos. En este sentido, para las densidades se establecieron 2 grupos claramente definidos, uno que registró la mayor firmeza con una deformación de 0,018 pulgadas (") para los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ ; y el otro con valores de 0,024" y 0,025" de deformación para aquellos desarrollados en las poblaciones con 50 y 100 plantas. $\text{m}^{-2}$ , respectivamente. Asimismo, para las dosis de  $\text{KNO}_3$  se determinaron 2 grupos estadísticos, uno que alcanzó la mayor firmeza con con 0,019" de deformación conformado por los bulbos de las parcelas donde se aplicaron 100  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , y el otro integrado por los bulbos menos firmes con 0,023" de deformación procedentes de las parcelas con aplicaciones de 25 y 50  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Para los 30, 60 y 90 después del almacenaje (dda) no se determinó una interacción significativa entre la densidad, las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo y la temperatura sobre la firmeza de los bulbos. A los 30 dda en las densidades los valores de deformación de los bulbos fueron similares estadísticamente para las densidades, las dosis de  $\text{KNO}_3$  y la temperatura. Se observó la tendencia a presentar los valores más bajos de deformación (0,023") y por lo tanto mayor firmeza, en los bulbos crecidos en las poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$ , un valor de 0,023" en aquellos correspondientes a las parcelas donde se aplicaron 25  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  y el valor de 0,025" tanto a 25 °C como a 10 °C.

A los 60 dda, para las densidades se establecieron 2 grupos estadísticos bien definidos, uno que registró la mayor firmeza con una deformación de 0,023” para los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>; y el otro con valores de 0,026” de deformación para aquellos desarrollados en las poblaciones de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores de deformación resultaron iguales desde el punto de vista estadístico, con la tendencia a registrar valores más bajos de deformación (0,024”) en los bulbos procedentes de las parcelas con aplicaciones de 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Para la temperatura se determinaron 2 grupos estadísticos, uno que registró la mayor firmeza con 0,022” de deformación en los bulbos colocados a 25 °C, y el otro con 0,028” de deformación para los bulbos almacenados a 10 °C.

A los 90 dda, para las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores de deformación fueron estadísticamente iguales, con la tendencia a presentar los valores más bajos de deformación (0,030”) en los bulbos provenientes de la densidad de 100 plantas.m<sup>-2</sup> y desarrollados en las parcelas con aplicaciones de 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Para la temperatura se determinaron 2 grupos estadísticos, uno que registró la mayor firmeza con 0,027” de deformación en los bulbos colocados a 25 °C, y el otro con 0,035” de deformación para los bulbos almacenados a 10 °C.

Cuadro 43. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con  $\text{KNO}_3$  y las condiciones de almacenaje sobre la firmeza (deformación) del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2$  °C).

TRATAMIENTOS	Deformación (Pulgadas)			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	0,018 b	0,023 a	0,023 b	0,031 a
50	0,024 a	0,027 a	0,026 a	0,031 a
100	0,025 a	0,025 a	0,026 a	0,030 a
Dosis $\text{KNO}_3$ (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	0,023 a	0,023 a	0,025 a	0,032 a
50	0,023 a	0,025 a	0,026 a	0,031 a
100	0,019 b	0,027 a	0,024 a	0,030 a
Temperatura ( $\pm 2$ °C)				
25		0,025 a	0,022 b	0,027 b
10		0,025 a	0,028 a	0,035 a
Densd x Dosis	ns	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp		ns	ns	ns
Xm	0,022	0,025	0,025	0,031
CV(%)	9,40	18,3	19,08	14,29

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

En los datos registrados en el Cuadro 43 se puede observar que inicialmente las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  tuvieron un efecto individual sobre la firmeza de los bulbos de ajo morado. La duplicación de la dosis de 50 a 100 kg.ha<sup>-1</sup> redujo la escala de deformación de 0,023” a 0,019”, al momento de la cosecha.

Sin embargo, las densidades, las dosis y la temperatura no afectaron la firmeza de los bulbos de ajo durante el almacenaje. Pero la temperatura si afectó de manera individual esta variable, ya que a partir de los 60 dda la pérdida de firmeza tendió a incrementarse en las muestras colocadas a 10 °C, estableciéndose una marcada diferencia entre las dos condiciones de almacenamiento. Esta respuesta se correspondió con la ruptura de la dormancia en los bulbos almacenados a 10 °C y

expresado por un drástico aumento en el índice de brotación. Por el contrario, los bulbos colocados a la temperatura de 25 °C presentaron mayor resistencia a la deformación durante el período de almacenamiento y ello estuvo asociado con un menor índice de brotación en esa temperatura. Se ha reportado que en ajo las bajas temperaturas (5 – 10 °C) inducen el rompimiento del letargo con el consiguiente crecimiento del brote dentro de los dientes y consecuentemente la firmeza del mismo tiende a disminuir (Randle, 2000).

Por otro lado, los resultados indican que a los niveles usados en este ensayo, la densidad y la aplicación adicional de KNO<sub>3</sub> en campo durante el cultivo favorecieron la firmeza de los bulbos desde el momento de la cosecha hasta los 30 dda, ya que ésta se mantuvo en niveles estables, pero estos tratamientos no conservaron este parámetro hasta el final del período de almacenamiento, por lo tanto sería necesario el estudio de otras dosis y determinar la cantidad óptima para preservar una mayor firmeza en el almacenaje, especialmente a 10 °C.

Se ha reportado que el ajo puede almacenarse por 1 o 2 meses entre 20 y 30 °C con una humedad relativa menor a 75% (Cantwell, 2004). Asimismo, Coolong y Randle (2008) reportaron una reducción en la firmeza de los bulbos de ajo después de 10 semanas de almacenaje a 1,5 °C y 70% HR, luego de este tiempo se produjo el gelado de los bulbos.

Los resultados obtenidos en este ensayo concuerdan con Vásquez *et al* (2006) quienes encontraron una reducción significativa en la resistencia a la deformación de los bulbos de ajo almacenados a 5 °C (de 0,15” a 0,25” de deformación), mientras que las muestras a temperatura ambiente (25 ± 3 °C) mantuvieron la misma firmeza (valor máximo 0,084” de deformación) durante 160 días de almacenamiento. Esta respuesta se atribuyó a los cambios ocurridos en los bulbos colocados a baja temperatura producto de su actividad fisiológica y manifestada por el crecimiento del brote lo que provocó la desconfiguración morfoanatómica del bulbo.

Por otro lado, en este trabajo los bulbos almacenados a 10 °C se sentían ligeramente esponjosos cuando se ejerció una presión manual (firmeza subjetiva) sobre ellos a los 60 dda y esta característica se acentuó hacia los 90 días. Esta misma apreciación fue reportada por Vásquez (2005) para ajo cvs Taiwan y Chino

almacenados a 15 °C y 80% HR, atribuyendo esta respuesta a la ruptura de la dormancia y el estímulo del gredado en los dientes por las bajas temperaturas, lo cual también fue observado en los bulbos de este ensayo.

### ***Índice de brotación (IBR)***

Los resultados del IBR de los bulbos de ajo criollo morado cultivado en 3 densidades, fertilizado en campo con 3 dosis de KNO<sub>3</sub> y almacenado a temperatura ambiente (25 ± 2 °C y 70% HR) y a 10 °C con 85% HR durante 90 días se presentan en el Cuadro 44.

Al momento de la cosecha se determinó una interacción significativa entre las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> sobre el IBR. Al respecto, el menor IBR (0,07) se registró en los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> combinado con la aplicación de 50 kg.ha<sup>-1</sup>. (Anexo 1).

Para los 30 después del almacenaje (dda) se determinó una interacción significativa entre la densidad, las dosis de KNO<sub>3</sub> aplicadas en campo y la temperatura sobre el índice de brotación de los bulbos, pero ello no ocurrió para los 60 y 90 dda. En este sentido, a los 30 dda el menor IBR (0,26) se registró en los bulbos procedentes de las poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizadas en campo con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub> y almacenados a 25 °C. (Anexo 1).

A los 60 dda, para las densidades se establecieron 2 grupos estadísticos bien definidos, uno que registró el menor IBR (0,54) para los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup>; y el otro con valores de 0,6 y 0,61 para aquellos desarrollados en las poblaciones de 50 y 100 plantas.m<sup>-2</sup>, respectivamente. En las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores del IBR resultaron iguales desde el punto de vista estadístico, con la tendencia a registrar valores más bajos de IBR (0,56) en los bulbos procedentes de las parcelas con aplicaciones de 50 kg.ha<sup>-1</sup>. Para la temperatura se determinaron 2 grupos estadísticos, uno que registró el menor IBR (0,37) en los bulbos colocados a 25 °C, y el otro con 0,79 para los bulbos almacenados a 10 °C.

A los 90 dda, para las densidades y las dosis de KNO<sub>3</sub> los valores del IBR fueron estadísticamente iguales, con la tendencia a presentar los valores más bajos de

IBR (0,64 y 0,66) en los bulbos provenientes de la densidad de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y desarrollados en las parcelas con aplicaciones de 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Para la temperatura se determinaron 2 grupos estadísticos, uno que registró el menor IBR (0,36) en los bulbos colocados a 25 °C, y el otro con 0,99 de IBR para los bulbos almacenados a 10 °C.

Cuadro 44. Efecto de la densidad de siembra, la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las condiciones de almacenaje sobre el índice de brotación del bulbo en ajo criollo morado, al momento de la cosecha, 30, 60 y 90 días después del almacenamiento a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y bajo refrigeración (10 ± 2 °C).

TRATAMIENTOS	Índice de brotación			
	Cosecha	Días después del almacenamiento		
		30	60	90
Densidad (plantas.m <sup>-2</sup> )				
33,33	0,08 b	0,32 b	0,54 b	0,64 a
50	0,12 a	0,37 a	0,60 a	0,70 a
100	0,13 a	0,39 a	0,61 a	0,67 a
Dosis KNO <sub>3</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )				
25	0,10 a	0,35 a	0,59 a	0,67 a
50	0,10 a	0,37 a	0,56 a	0,69 a
100	0,13 b	0,37 a	0,59 a	0,66 a
Temperatura (± 2 °C)				
25		0,34 b	0,37 b	0,36 b
10		0,38 a	0,79 a	0,99 a
Densd x Dosis	*	ns	ns	ns
Densd x Dosis x Temp		*	ns	ns
Xm	0,11	0,36	0,58	0,67
CV(%)	14,5	18,7	13,3	14,3

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey P < 0,05

La capacidad del bulbo de ajo para permanecer en estado de letargo es una característica deseable durante el almacenaje. El letargo está genéticamente controlado aunque algunos factores ambientales pueden afectar su duración,

especialmente la temperatura. El crecimiento del brote señala el término de este estado fisiológico (Brewster, 2001).

La mayoría de los investigadores evalúan la ruptura del letargo cuando ésta es evidente, es decir, los dientes presentan más de 1 en el IBR, en este trabajo se consideró que el fin del período de letargo lo señalaba el inicio del crecimiento del brote, aún dentro del diente y no hasta que el brote emergiera del mismo, registrando un IBR de 0,25 o más (Brewster, 2001).

Bajo este concepto, las densidades, dosis de  $\text{KNO}_3$  y la temperatura afectaron el IBR de los bulbos de ajo morado desde la cosecha hasta los 30 dda. A partir de ese momento sólo la temperatura de almacenaje afectó esta variable. En este sentido, luego de 30 días de almacenaje los bulbos rompieron su letargo y registraron un incremento del IBR tanto a 25 °C como a 10 °C. Sin embargo, el aumento del IBR fue más sostenido a 10 °C pasando de 0,38 a los 30 dda hasta 0,99 al final del período de almacenamiento, lo que representó un incremento del 61%; mientras que los bulbos colocados a 25 °C pasaron de 0,34 a 0,36 en ese mismo lapso de tiempo, es decir, un aumento de sólo 5,5%.

Estas observaciones concuerdan con Cantwell (2004) y Vásquez *et al.* (2006) quienes trabajaron con ajo 'Blanco' y 'Chino' encontrando que el almacenaje entre 5 y 20 °C indujo la brotación después de 24 y 14 días, respectivamente, en comparación con aquellos expuestos a 30 °C. Asimismo, coinciden con Ramin (1999) quien determinó que la tasa de brotación en bulbos de cebolla fue significativamente menor a 25 y 30 °C comparado con el almacenaje a 2 °C.

La respuesta encontrada indica claramente que al colocarse los bulbos en ambiente refrigerado se libera el control del letargo y se dispara el grelado del diente, probablemente aprovechando las sustancias de reserva y la síntesis de reguladores de crecimiento (giberelinas) que ocurre a baja temperatura como consecuencia del rompimiento del letargo (Orthen, 2001; Vásquez *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2008). Desde el punto de vista de almacenaje para consumo fresco, las bajas temperaturas pueden representar una desventaja; no obstante ello resulta importante para el almacenaje de ajo destinado a semilla, en el cual las bajas temperaturas se consideran inductoras del proceso de brotación.

Por el contrario, en los bulbos almacenados a 25 °C, la brotación fue inhibida fuertemente y los ajos terminaron completamente dormantes en esas condiciones. Las altas temperaturas podrían imponer un estado de inactividad o inducir la termodromancia en los bulbos. Miedema (1994) reportó que los niveles de citokininas en bulbos de cebolla fueron altos a 15 °C comparado con 30 °C, lo que permitió el rompimiento del letargo y provocó la inducción del grelado.

Esta consideración es importante y potencia su uso para la conservación del ajo en estado fresco y también señala la importancia de mantener un estricto control de este parámetro, ya que las fluctuaciones hacia bajas temperaturas van a provocar el grelado de los bulbos y por lo tanto la pérdida de calidad.

Si el fin del período de dormancia se relaciona el IBR, entonces la vida útil del ajo morado pudiera ser determinada por el período de dormancia y este parámetro podría ser utilizado como un indicador de su vida útil. Sin embargo, para que el IBR pueda ser un indicador preciso es necesario que ocurran cambios paralelos en otros factores de calidad.

### ***Firmeza vs índice de brotación***

En el Cuadro 45 se presenta el análisis de correlación entre la firmeza, el índice de brotación (IBR) y la temperatura de almacenaje. Para los 30 dda no se determinó una correlación significativa entre las 3 variables estudiadas. A partir de los 60 y 90 dda, se encontró una correlación altamente significativa entre la pérdida de firmeza del bulbo, el IBR y la temperatura. Estas observaciones muestran que la firmeza y el índice de brotación de los bulbos se comportan de manera inversa dentro de los rangos de temperatura considerados, es decir, mientras el índice de brotación aumenta debido a la baja temperatura la firmeza disminuye.

Cuadro 45. Coeficientes de correlación entre la firmeza de los bulbos, el índice de brotación (IBR) y la temperatura a los 30, 60, 90 días después del almacenaje.

Variables	Días después de almacenaje					
	30		60		90	
	IBR	Temp.	IBR	Temp.	IBR	Temp.
Firmeza	0,0847 ns	0,0369 ns	0,4868 **	0,4419 **	0,6528 **	0,6713 **
IBR	---	0,1935 ns	---	0,9191 **	---	0,9531 **

Pearson  $P < 0,05$

Se ha señalado que debido al crecimiento del brote por efectos de la vernalización, éste aplica presión que provoca la separación de los dientes, haciendo al bulbo menos firme (Vásquez *et al.*, 2006). Esta consideración pudiera ser una buena relación para estimar los cambios en la calidad del ajo durante el almacenaje.

Por otra parte, la disminución de firmeza de los bulbos de ajo durante el almacenaje era de esperarse ya que ésta se encuentra asociada con una reducción en la turgencia celular y el consiguiente ablandamiento de los tejidos debido a la pérdida de agua que ocurre durante ese período (Gómez *et al.*, 2004). También se ha sugerido que el ablandamiento de los bulbos en cebolla está relacionado con cambios en la lámina media (García *et al.*, 2002) y en la interacción del Calcio con los grupos carboxilos del ácido polygalacturónico (Pectina) imbibido en la pared primaria (Micheli, 2001), lo que provoca el deslizamiento y la separación de las células (Coolong y Randle, 2008).

Asimismo, la pérdida de firmeza pudiera asociarse con las fracciones de pectinas hidrosolubles, las cuales se caracterizan por su alta esterificación y pocos polímeros ramificados que pueden interactuar con componentes circundantes de la pared celular (Heredia *et al.*, 1995) provocando el ablandamiento del tejido (Brummell, 2006). Al respecto, Coolong y Randle (2008) reportaron incrementos en la pectina alcalina soluble de cebolla sugiriendo cambios en la solubilidad de la pectina durante el almacenaje.

Además, se piensa que en presencia de un activo sistema de pectin metyl esterasa los quelatos de pectina soluble pueden incrementarse formando bandas iónicas con el Calcio hasta que son solubilizadas por agentes quelatantes (Heredia *et*

*al.*, 1995), esto indica que la enzima pectin metyl esterasa (PME) pudiera activarse durante el almacenamiento de los bulbos, así las cadenas de pectinas hidrosolubles pueden ser primero de-esterificadas antes de formar el quelato (Brummell, 2006). En este sentido, García *et al.*, (2002) reportaron la actividad de la PME en tejido fresco de cebolla aunque no investigaron su actividad durante el almacenaje.

En general, las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo no fueron determinantes en el comportamiento de las variables físicas de calidad del ajo: el porcentaje de pérdida de masa fresca, contenido de materia seca, índices del color (L, hue, croma) y la firmeza durante el almacenamiento a 25 °C y 10 °C. Sin embargo, las pérdidas en masa fresca, materia seca y firmeza fueron mayores en los bulbos almacenados a 10 °C comparado con aquellos colocados a 25 °C. Sólo el índice de brotación del ajo fue afectado por los factores estudiados al momento de la cosecha y a los 30 dda. Este parámetro fue mayor en los bulbos almacenados a 10 °C comparado con aquellos preservados a 25 °C.

Las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo fueron determinantes en el comportamiento de las variables químicas de calidad: sólidos solubles totales, acidez total titulable, pH, relación sólidos solubles/acidez y contenido de piruvato de los bulbos durante el almacenaje a 25 °C y 10 °C. Al respecto, los sólidos solubles y la acidez total titulable fueron superiores en los bulbos provenientes de las poblaciones de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup> y almacenados a 25 °C.

Durante el almacenamiento, se observó una reducción del porcentaje de ácido pirúvico tanto a 25 °C como a 10 °C con un marcado efecto de la temperatura al final del período de almacenaje. En el pH este efecto fue más acentuado desde los 30 dda, reflejándose mayormente en los bulbos colocados a 10 °C; mientras que en el contenido de piruvato el efecto de la temperatura se observó desde los 60 dda registrándose un incremento significativo al final del período de almacenaje en las dos temperaturas estudiadas.

**CAPITULO VII**  
**EFEECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA, LA NUTRICIÓN POTÁSICA Y**  
**LAS CONDICIONES DE ALMACENAJE SOBRE LOS COMPUESTOS**  
**FENÓLICOS Y ORGANOSULFURADOS DEL AJO**

**Introducción**

Un número de especies del género *Allium* que han sido investigadas encontrándose que son ricas en el contenido de compuestos organosulfurados y fenólicos, los cuales en la mayoría de los casos proporcionan el olor característico de esas plantas.

Los compuestos fenólicos y azufrados del ajo actúan sinérgicamente bloqueando la actividad del oxígeno reactivo sobre las proteínas, lípidos y ADN, proporcionándole propiedades antioxidantes (Espinosa *et al.*, 2010).

Los ácidos fenólicos constituyen una larga familia de metabolitos secundarios que tienen en su estructura un grupo hidroxil benzoico o hidroxil cinnámico. Estos compuestos comúnmente se forman como ácidos libres o sus ésteres, glucósidos y bandas complejas; además juegan un rol importante en la resistencia a patógenos por su efecto alelopático, estrés oxidativo y regulador del crecimiento (Kawsar *et al.*, 2008).

Los fenoles típicos que poseen actividad antioxidante constituyen mayormente ácidos fenólicos y flavonoides. Ellos son la mayor cantidad de compuestos presentes en el reino vegetal, especialmente en frutas y vegetales. Su efecto sobre las propiedades organolépticas, en la maduración y en el oscurecimiento enzimático y preservación de los alimentos ha sido evaluado (Nurmi *et al.*, 2006; Nowak y Gawlik, 2007). Además, su potencial como protector contra enfermedades asociadas a daños oxidativos, tales como lesiones coronarias y cáncer, ha cobrado reciente interés (Nishimura *et al.*, 2000; Kik *et al.*, 2001).

Se ha encontrado una variación considerable en los compuestos fenólicos de diferentes especies (Kim *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008). Debido a esta

diversidad y complejidad es difícil identificar los grupos y las agliconas (Kawsar *et al.*, 2008). .

Así, estos compuestos han sido utilizados durante mucho tiempo como marcadores para el análisis genético de una amplia variedad de procesos biológicos y su evolución, incluidos las vías bioquímicas, la canalización del metabolismo intracelular, el transporte, la diferenciación celular (epigenética), la regulación de la expresión génica y la actividad de elementos de transposición (Kim *et al.*, 2003).

Por otra parte, los compuestos volátiles contentivos de azufre son los responsables del olor y sabor en las plantas de ajo. La mayoría de los bulbos intactos presentan el precursor no volátil S-alk(en)yl-L-cystein sulfoxido. La enzima allinasa cataliza la conversión de este compuesto a thiosulfinatos volátiles, mientras el piruvato y el amonio son formados como subproductos (Nishimura *et al.*, 2000). Los thiosulfinatos son relativamente inestables, cuando son almacenados por largos períodos resultan en la formación de di, tri y polisulfidos (Kubec *et al.*, 2007).

Los compuestos S-methyl-L-cystein sulfoxido (methin), S-allyl-L-cystein sulfoxido (allin) y S-trans-1-propenyl-L-cystein sulfoxido (isoallin) han sido reportados como constituyentes de ajo, cebolla y ajo porro, siendo este último el precursor del factor lacrimonal de la cebolla (Vagen y Slimestad, 2008). El methin ha sido el mayor componente detectado en algunas especies de *Allium*, mientras que los dos últimos se han encontrado en menor cantidad (Kubec *et al.*, 2000). La proporción de thiosulfinatos para especies silvestres varía entre 0,006 y 0,309% (Krest *et al.*, 2002).

El contenido de derivados de cystein sulfoxidos difiere en todas las partes de la planta. El methin, allin e isoallin fueron aislados de bulbos, tallos, hojas y flores de *Allium siculum*, y son los metabolitos secundarios más comunes en la mayoría de las especies de este género (Krest *et al.*, 2002; Keusgen *et al.*, 2002 y Kubec *et al.*, 2002).

Se ha establecido una correlación entre los compuestos thiosulfinatos, los precursores del sabor y el perfil resultante para el mismo. El ajo está caracterizado por el methyl 2-propenyl disulfido y la cebolla por el dipropyl disulfido, ambos derivados del allin (Keusgen *et al.*, 2002).

En la última década, han cobrado interés los compuestos sulfurados del ajo, especialmente thiosulfatos por sus efectos medicinales (Kasuga *et al.*, 2001). El mayor de estos compuestos es allicin, el cual tiene un efecto antimicrobial debido a su reacción química con los grupos thiol de varias enzimas (Ankri y Mirelman, 1999).

Estos atributos explican por qué el estudio de los compuestos organosulfurados y fenólicos ha ganado interés en los últimos años, especialmente en el bulbo de ajo. No obstante, luego de la cosecha, la proporción relativa de ellos también puede cambiar con el tiempo de almacenaje y las condiciones tecnológicas de conservación. En Venezuela el cultivo de ajo se distribuye en las zonas altas (superior a 1000 msnm) demostrando amplia capacidad de adaptación, pero los cultivares presentes no han sido caracterizados químicamente para potenciar su uso con fines medicinales.

En este sentido, el presente ensayo fue diseñado para evaluar el efecto de la densidad de siembra, la nutrición con  $\text{KNO}_3$  y las condiciones de almacenaje sobre los niveles de Quercetin y Allicin del ajo morado, con el fin de estudiar los avances más recientes para la comprensión del metabolismo y su regulación.

## **Materiales y métodos**

### ***Material vegetal y obtención del extracto para Quercetina***

Se utilizaron dientes de ajo criollo morado provenientes de las parcelas experimentales, los cuales fueron liofilizados. Los muestreos se realizaron al momento de la cosecha para todos los tratamientos aplicados en campo. Una vez determinado el mejor de ellos se hizo el muestreo del mismo a los 30, 60 y 90 días de almacenaje tanto a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) como a  $10 \pm 2$  °C. Para la extracción de la Quercetina se siguió el método utilizado por Vásquez (2005), el cual se describe en el capítulo III.

### ***Separación y Cuantificación de Quercetina***

La separación y cuantificación se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) utilizando un cromatógrafo Waters® modelo 510 equipado con una columna Symetry C<sub>18</sub> de 3.5 µm de tamaño de partícula y de 4.6 x 100 mm de diámetro y largo, respectivamente, así como un detector de arreglo de diodos, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nm. La cuantificación se realizó por el método de la curva estándar utilizando el patrón Quercetina de Sigma® (Horbowicz y Kotlinska, 2004). Este procedimiento se detalla en el capítulo III.

### ***Material vegetal y obtención del extracto para Allicin***

Se utilizaron dientes de ajo criollo morado provenientes de las parcelas experimentales, los cuales fueron liofilizados. Los muestreos se realizaron al momento de la cosecha para todos los tratamientos aplicados en campo. Una vez determinado el mejor de ellos se hizo el muestreo del mismo a los 30, 60 y 90 días de almacenaje tanto a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) como a  $10 \pm 2$  °C. Para la extracción del allicin se siguió el método utilizado por Perotto (2008), el cual se describe en el capítulo III.

### ***Separación y Cuantificación de Allicin***

La separación y cuantificación se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) utilizando un cromatógrafo Waters® modelo 510 equipado con una columna Symetry C<sub>18</sub> de 3.5 µm de tamaño de partícula y de 4.6 x 100 mm de diámetro y largo, respectivamente, así como un detector de arreglo de diodos, el cual registró la absorbancia de las muestras a 205 nm. La cuantificación se realizó por el método de la curva estándar utilizando el patrón comercial Allin de Catalyst R&D® (Sarah, 2005). Este procedimiento se detalla en el capítulo III.

## **Análisis de los resultados**

Todos los datos fueron tomados de acuerdo a los métodos descritos en el capítulo III. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de media según Tukey con un nivel de  $P < 0,05$  para los tratamientos que resultaron significativos utilizando el paquete estadístico Statistic para Windows 8.0. Para establecer la asociación entre algunas las variables evaluadas se realizaron análisis de correlación según Pearson  $P < 0,05$  obteniendo los coeficientes y los niveles de significancia. Para analizar el comportamiento de las variables en cada fecha de muestreo se construyeron cuadros con los promedios de cada tratamiento indicando la media general y el coeficiente de variación para cada grupo de casos.

## **Resultados y discusión**

### ***Perfil de Separación de la Quercetina***

El perfil de separación generado por el cromatograma de las muestras de ajo criollo morado al momento de la cosecha es mostrado en las Figuras 15 y 16. En todos los tratamientos, un pico presentó un espectro similar al estándar de Quercetina, con tiempo de retención (TR) de 12,8 minutos y una absorbancia de 360 nanómetros (nm).

La columna Symetry C-18 rápidamente separó la Quercetina 3-glucósido, la cual tuvo una elusión excelente. Makris y Rossiter (2001), y Vagen y Sliestad (2008) utilizando una metodología de HPLC similar separaron Quercetina 3-glucósido en cebolla con un TR=12,7. De igual manera Bonaccorsi *et al.* (2005) detectaron Quercetina 4-glucósido en cebolla roja aunque con un TR mayor (TR=16,5 minutos). En otro trabajo utilizando la misma metodología Nowak y Gawlik (2007) separaron Quercetina en extractos de hojas de *Rosa sp.*

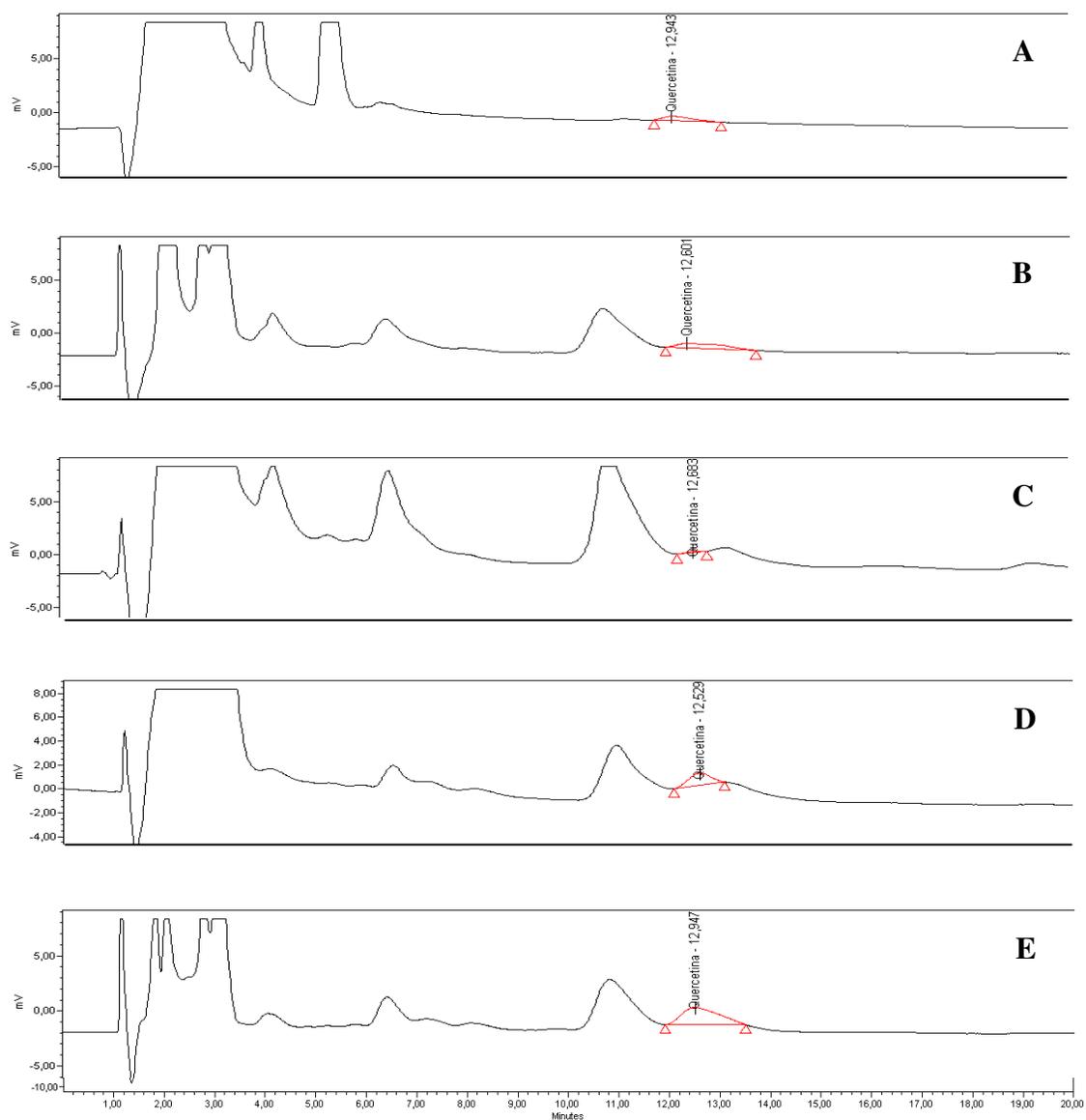


Figura 15. Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la presencia de Quercetina al momento de la cosecha. A=D1K1; B=D1K2; C=D1K3; D=D2K1; E=D2K2.

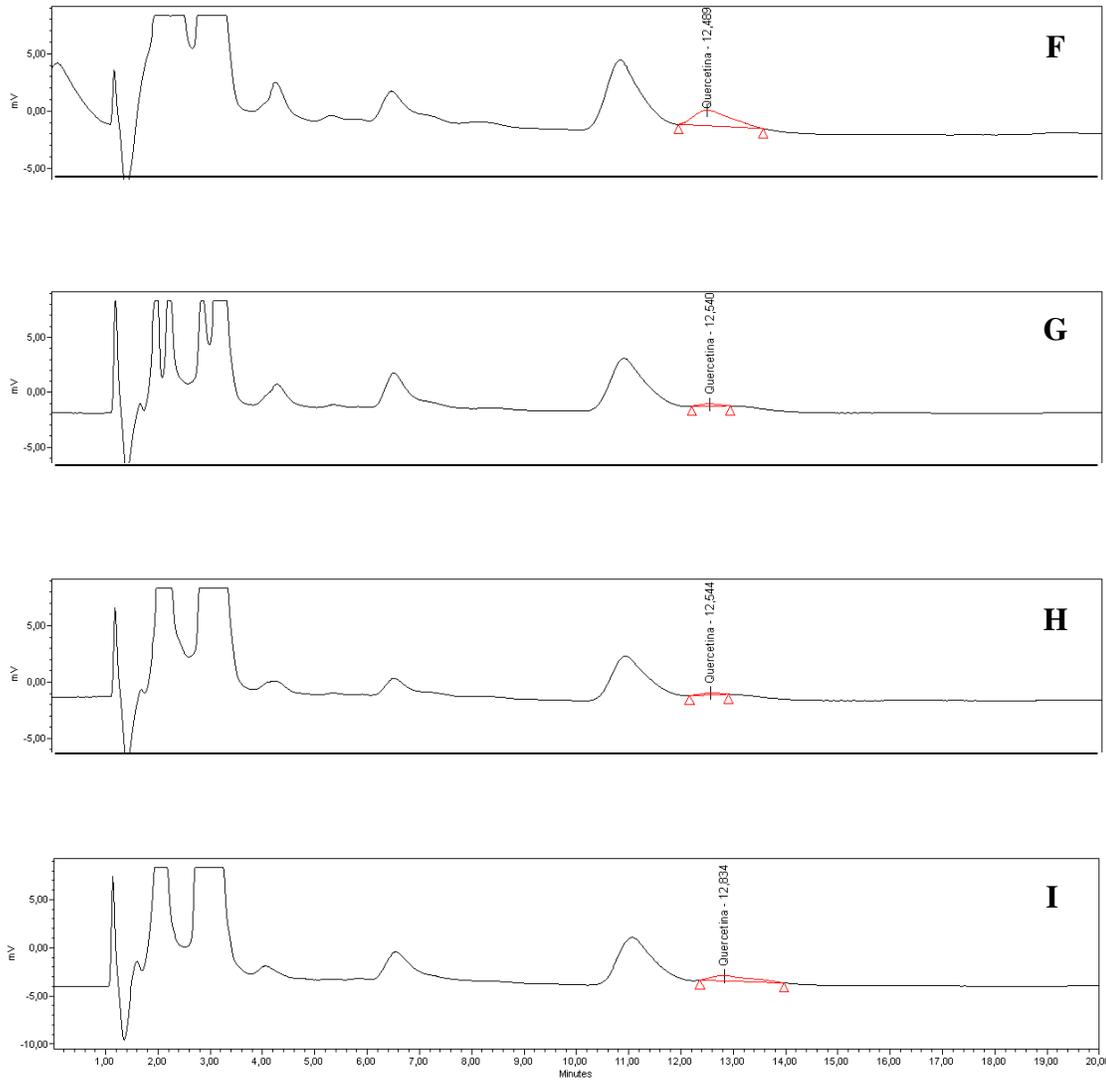


Figura 16. Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la presencia de Quercetina al momento de la cosecha. F=D2K3; G=D3K1; H=D3K2; I=D3K3.

En el Cuadro 46 se presentan los resultados de la cuantificación de la Quercetina determinada en los bulbos de ajo morado al momento de la cosecha. Los tratamientos aplicados en campo afectaron el contenido de Quercetina en los bulbos, estableciéndose una interacción altamente significativa entre la densidad y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , correspondiendo los mayores valores de Quercetina ( $0,33 \text{ mg.g}^{-1}$ ) a los bulbos provenientes de la densidad de  $50 \text{ plantas.m}^{-2}$  y con la aplicación de  $50 \text{ kg.ha}^{-1}$  en las parcelas.

En los datos presentados se puede observar que tanto la densidad como la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  en campo tuvieron un efecto significativo sobre el nivel Quercetina en ajo. Los bulbos provenientes de las parcelas con bajas poblaciones presentaron la mayor cantidad de Quercetina en comparación con aquellos provenientes de las poblaciones más densas; mientras que en las dosis de  $\text{KNO}_3$ , las cantidades más altas favorecieron las concentraciones de este compuesto, observándose efectos diferenciales entre los bulbos.

Mogren *et al.* (2009) han encontrado variaciones en el contenido de Quercetina glucósido de cebolla amarilla en respuesta a alteraciones en la radiación interceptada sobre todo al final del período de crecimiento, esto sugiere que los cultivares pueden reaccionar diferentemente a cambios en las condiciones ambientales, al parecer la síntesis de los flavonoides ocurre durante las últimas semanas antes de la cosecha.

Cuadro 46. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el contenido de Quercetina ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha.

TRATAMIENTO	Contenido de Quercetina ( $\text{mg.g}^{-1}$ )
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )	
33,33	0,24 b
50	0,38 a
100	0,10 c
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )	
25	0,17 c
50	0,29 a
100	0,26 b
Densd x Dosis	**
Xm	0,24
CV(%)	1,99

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

Por otro lado, Leskovar *et al.* (2009) han sugerido que las altas dosis de fertilizantes, especialmente N generalmente provocan excesivo crecimiento vegetativo y esto puede reducir la cantidad de luz interceptada por el auto sombreado, por lo tanto la síntesis de metabolitos secundarios podría también ser afectada. En este ensayo se utilizó  $\text{KNO}_3$  como fuente de K lo cual pudiera explicar las diferencias encontradas en las concentraciones de Quercetina para cada una de las dosis utilizadas.

Los cambios en las condiciones de cultivo pueden imponer un tipo de estrés en las plantas afectando la producción y concentración de metabolitos secundarios. Leskovar *et al.* (2009), demostraron que la cantidad de luz interceptada por la planta de espinaca influyó sobre la producción de compuestos fitoquímicos, tales como carotenoides. Por lo tanto, la competencia por agua, luz y nutrientes en las parcelas mayormente pobladas pudo afectar los niveles de Quercetina en ajo.

Espinoza *et al.* (2010) determinó una variación en el contenido de fenoles totales en un rango de 0,307 a 0,626  $\text{mg.g}^{-1}$  y bservó que la concentración aumentó conforme se retrasó el tiempo de cosecha. Estos autores sugieren que al quedar los

bulbos expuestos más tiempo en el campo, se podría aumentar la síntesis de los fenoles presentes en el bulbo.

Los niveles de Quercetina determinados para el mejor tratamiento aplicado en campo ( $0,33 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) encontrados al momento de la cosecha son superiores a los  $0,28$  y  $0,089 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  reportados por Pérez *et al.* (2010) para cebollas rojas y blancas, respectivamente. Asimismo, los resultados son mayores a los encontrados por Kawsar *et al.* (2008) en la especie bulbosa *Macrotyloma uniflorum* con  $0,089 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  de masa seca. Las discrepancias en estos valores pueden ser atribuidas al cultivar, condiciones climáticas, prácticas agronómicas y la metodología utilizada (Sgroppo *et al.*, 2005).

En algunos casos, pocos grupos de flavonoides son extraídos sin detrimento de otros, por lo que no es fácil obtener el pool integral de los compuestos fenólicos. La dificultad para la separación radica en el hecho de que algunos de ellos pueden acumularse en la vacuola, mientras que otros están presentes en la pared celular (Ninfali y Bacchiocca, 2003).

En cebollas los niveles de Quercetina 3-glucósido alcanzan entre 80-85% del contenido total de los flavonoides presentes en el bulbo, los cuales se encuentran principalmente en forma de mono y diglucósidos (Makris y Rossiter, 2001; Sgroppo *et al.*, 2005).

Sellappan y Akoh (2002) encontraron Quercetina en niveles de  $46,3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}$  de masa fresca en cebolla roja, estos autores sugieren que las concentraciones de este compuesto pueden variar en los tejidos porque ellos pueden presentarse libres o conjugados con carbohidratos, principalmente glucósidos.

Por otra parte, en el Cuadro 47 se presenta la evolución del contenido de Quercetina en los bulbos para el tratamiento de  $50 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$  y  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  durante el almacenaje a  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Se puede observar que a partir de los 30 días después del almacenaje (dda) los niveles de Quercetina en los bulbos registraron una disminución significativa en las dos condiciones señaladas, aunque esta reducción fue más drástica durante el tiempo de almacenamiento a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  comparado con las muestras colocadas a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , ya que en la primera condición la disminución fue  $0,29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  y en la segunda  $0,15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . Esta respuesta puede

atribuirse a la degradación de la Quercetina por efecto de las altas temperaturas (Gennaro *et al.*, 2002; Brownmiller y Prior, 2009).

Estos resultados coinciden con Mogren *et al.* (2007b) quienes reportaron que los niveles de Quercetina glucósido en cebolla se mantuvieron estables durante el almacenaje a bajas temperaturas y humedad relativa constante.

Cuadro 47. Cambios en el contenido de Quercetina ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, luego de 30, 60 y 90 días de almacenaje a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Temperatura		Contenido de Quercetina ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )					
		$25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$			$10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$		
		Días después del almacenamiento					
TRATAMIENTO		30	60	90	30	60	90
50 plantas. $\text{m}^{-2}$							
50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$		0,55	0,46	0,26	0,59	0,46	0,44

Por su parte Gennaro *et al.* (2002) reportó que la degradación en los niveles de los derivados de diglucósidos fue mas lenta cuando las cebollas fueron refrigeradas a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  comparado con las muestras colocadas a temperatura ambiente donde se produjo una reducción entre 64 y 73%, y esa misma tendencia se observó para la capacidad antioxidante. Rhodes y Price (1997) también observaron una disminución en estos compuestos en cebolla, reportando una reducción del 50% de la Quercetina 4-glucosido 2 semanas después de cosechada y almacenada a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

De igual manera, Ninfali y Bacchiocca (2003) señalaron que en cebolla los niveles de fenoles fueron más bajos en los tejidos frescos que cuando se congelaron previamente, esta respuesta pudiera estar relacionada con reacciones de condensación entre los polifenoles que conducen a la formación de compuestos poliméricos que modifican las concentraciones en los tejidos (Brownmiller y Prior, 2009). Asimismo, Rodríguez *et al.* (2009) reportaron una pérdida considerable en el contenido de Quercetina de cebolla deshidratada comparado con los niveles en tejido fresco.

Gorinstein *et al.* (2008) encontró mayores niveles de Quercetina 4-glucósido en cebolla roja y el escaldado no afectó sus concentraciones en los tejidos. Míean y Mohamed (2001) encontraron niveles de  $1,4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  en hojas de cebolla, ratificando que este compuesto es el mayor constituyente de los flavonoides presentes en *Allium*.

Van der Sluis *et al.* (2001) almacenaron manzanas a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 12 semanas y no observaron un efecto significativo sobre los niveles de Quercetina glucósido, siendo éstos los compuestos más estables de todos los flavonoides determinados. Al contrario, observaron mayor estabilidad en los fenoles de ciruelas durante el almacenaje a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### ***Perfil de Separación del Allicin***

El perfil de separación generado por el cromatograma de las muestras de ajo criollo morado al momento de la cosecha es mostrado en las Figuras 17 y 18. En todos los tratamientos, un pico presentó un espectro similar al estándar del Allicin, con tiempo de retención (TR) de 5,71 minutos y una absorbancia de 205 nanómetros (nm).

Estos resultados concuerdan con Sarah (2005) quien determinó Allicin en extracto metanólico de bulbos de ajo y la especie bulbosa *Tulbaghia acutiloba*, aunque el TR fue de 2,59 minutos. Asimismo, Perotto (2008) aplicó la técnica de HPLC y reportó la presencia de Allicin en ajo indicando un TR 5,83 minutos. De igual manera, Leelarungrayub *et al.* (2006) reportaron un cromatograma típico para muestras de cebollín donde además de otros compuestos destaca el Allicin con un TR de 4,62 minutos.

Por su parte, Lee *et al.* (2009) y Cho *et al.* (2009), aislaron Isoallin y Allin en bulbos de cebolla y ajo, con un TR de 6,6 y 5,15 minutos, respectivamente y una absorbancia de 580 nm. Estos autores reportaron que la actividad de la enzima allinasa estuvo asociada con el desarrollo de pigmentos verdes en ajo, y que la glicina fue el aminoácido involucrado en esta decoloración, aunque este fenómeno no fue observado en este ensayo.

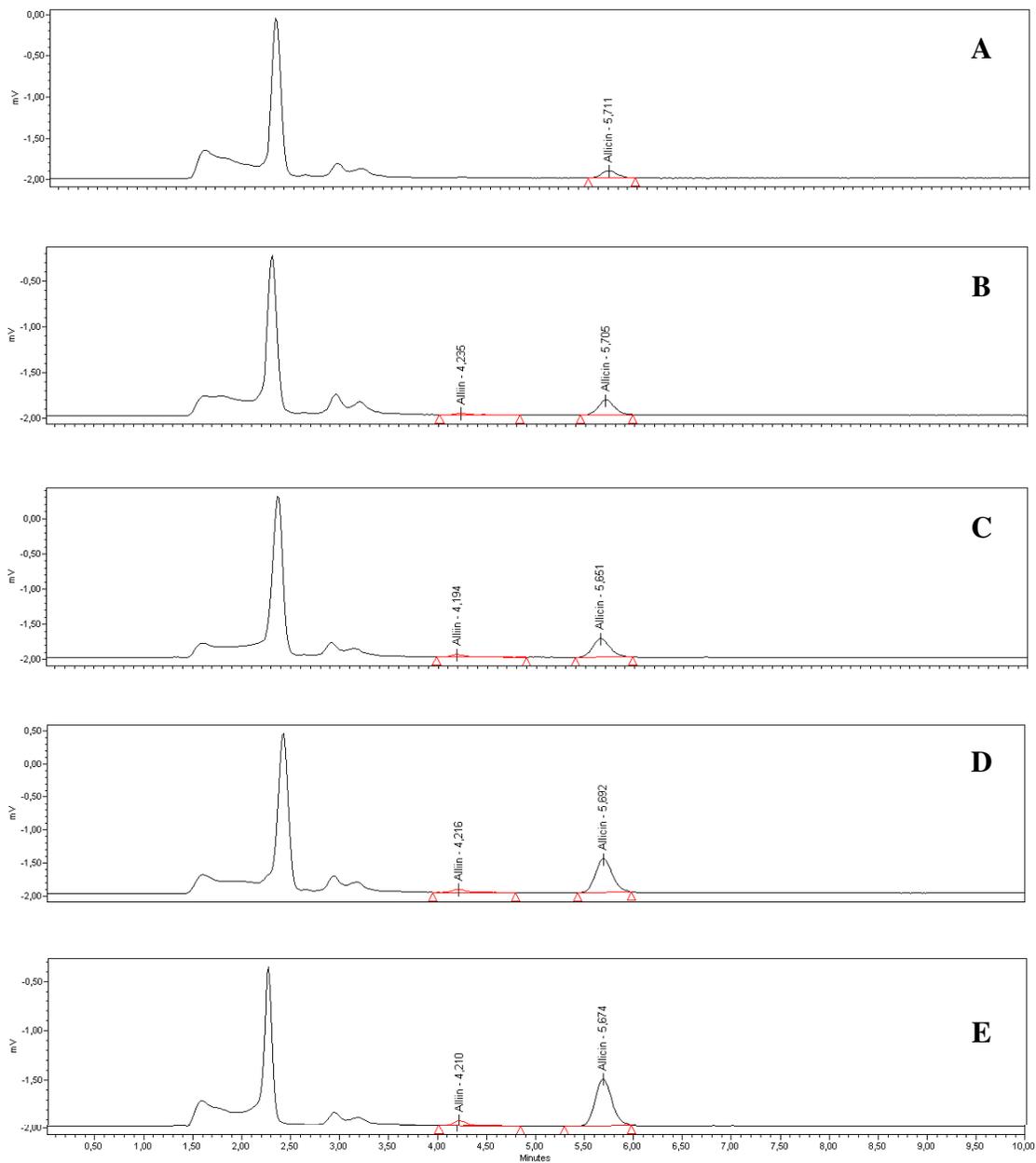


Figura 17. Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la separación del Alicin al momento de la cosecha. A=D1K1; B=D1K2; C=D1K3; D=D2K1; E=D2K2.

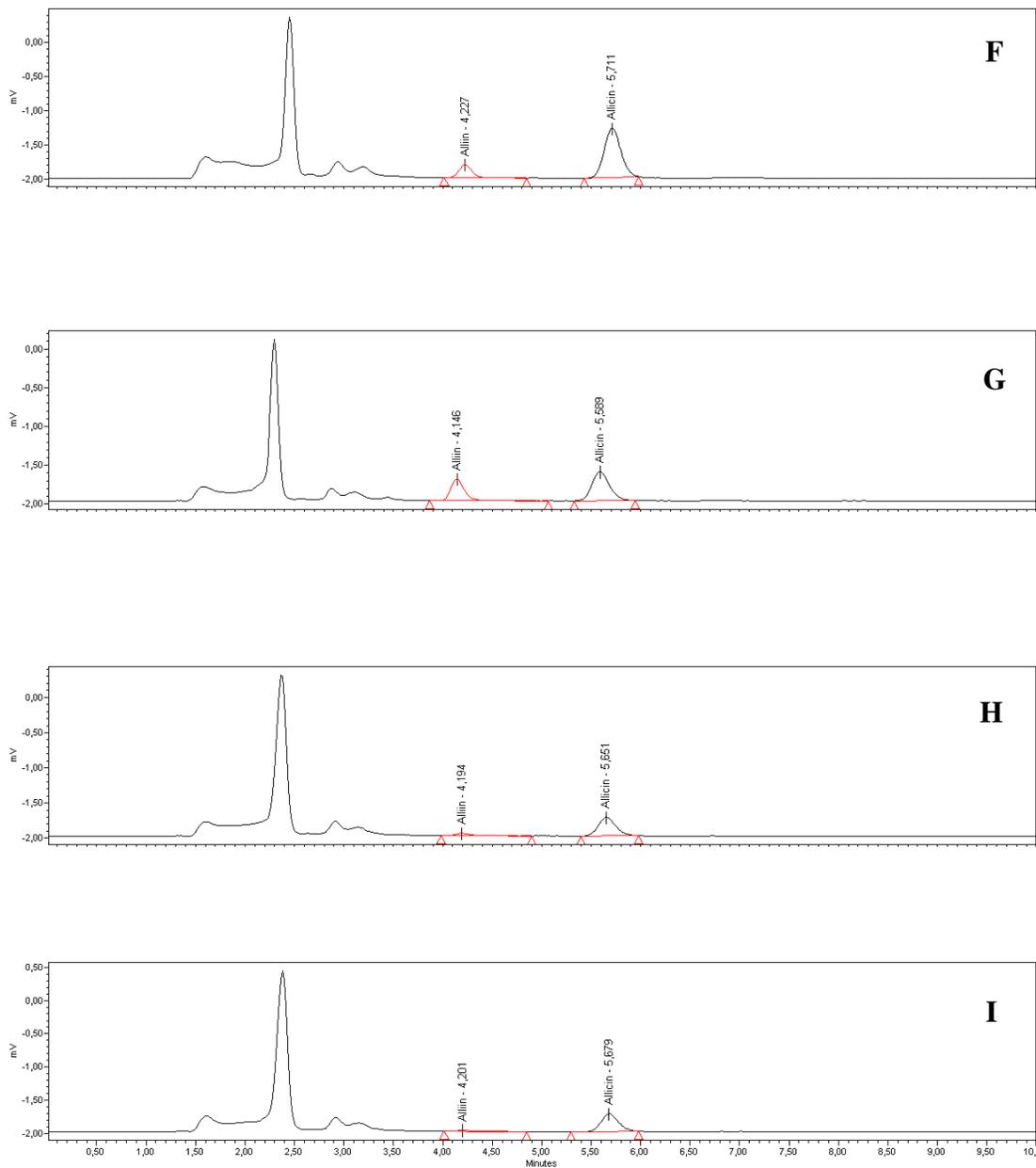


Figura 18. Cromatogramas de las muestras de ajo morado mostrando la separación del Allicin momento de la cosecha. F=D2K3; G=D3K1; H=D3K2; I=D3K3.

En el Cuadro 48 se presentan los resultados de la cuantificación del Alicin determinados en los bulbos de ajo morado al momento de la cosecha. Los tratamientos aplicados en campo afectaron el contenido de Alicin en los bulbos, estableciéndose una interacción altamente significativa entre la densidad y las dosis de  $\text{KNO}_3$ , correspondiendo los mayores valores de Alicin ( $12,38 \text{ mg.g}^{-1}$ ) a los bulbos provenientes de la densidad de  $50 \text{ plantas.m}^{-2}$  y con la aplicación de  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  en las parcelas.

En los resultados presentados se puede observar que tanto la densidad como la aplicación adicional de  $\text{KNO}_3$  en campo tuvieron un efecto significativo sobre el nivel Alicin en ajo. Los bulbos provenientes de las parcelas con bajas poblaciones presentaron la mayor cantidad de Alicin en comparación con aquellos provenientes de las poblaciones más densas; mientras que en las dosis de  $\text{KNO}_3$ , se observó una respuesta lineal ya que a medida que se aumentó la cantidad del fertilizante también se incrementaron los niveles de este compuesto en los bulbos.

Cuadro 48. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con  $\text{KNO}_3$  sobre el contenido de Alicin ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, al momento de la cosecha.

TRATAMIENTO	Contenido de Alicin ( $\text{mg.g}^{-1}$ )
Densidad ( $\text{plantas.m}^{-2}$ )	
33,33	8,86 b
50	12,54 a
100	7,95 c
Dosis $\text{KNO}_3$ ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )	
25	6,57 c
50	11,56 b
100	12,22 a
Densd x Dosis	**
Xm	9,78
CV(%)	1,61

Medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes según Tuckey  $P < 0,05$

Por otro lado, estos resultados confirman los reportes de que el Allicin ha sido el mayor compuesto determinado en ajo y está contenido mayormente en los bulbos de la planta. También ha sido reportado en ajo porro (Block, 1992) y se han encontrado trazas en bulbos de *Allium siculum* (Kubec *et al.*, 2002b) y en bulbos de *Leucocoryne* en bajas concentraciones (Lancaster *et al.*, 2000).

La explicación del efecto del KNO<sub>3</sub> aplicado en campo sobre la concentración de Allicin observado en este ensayo, podría estar asociado con el papel del K en la formación de los precursores del aroma. El K pudiera estimular la hidrólisis del S-alk(en)yl-L-cystein sulfóxido para que reaccione con la enzima allinasa y produzca algunos sulfuros volátiles (Yoo *et al.*, 2006; Losák *et al.*, 2010), entre los cuales está el Allicin. También se ha demostrado el efecto del N sobre este proceso enzimático en cebolla ya que la allinasa en un primer paso transforma 2 moléculas de Allin en 2 de ácido alilsulfénico, 2 de ácido pirúvico y 2 de amoníaco (McCallum *et al.*, 2005). Otros estudios en nutrición mineral han indicado que la suplencia en exceso tiende a reducir la síntesis y acumulación de compuestos fitoquímicos, mientras que la deficiencia tiene un efecto opuesto (Leskovar *et al.*, 2009).

Keusgen *et al.*, (2002) afirmó que el perfil del aroma en *Allium* dependió del patrón parental utilizado. Así, se puede establecer una muy buena correlación entre el cystein sulfoxido producido y precursor del aroma. De acuerdo con estos autores, dependiendo de la especie de *Allium* involucrada, los híbridos corresponden más o menos a un “tipo ajo”, caracterizado por mayores niveles de di-2-propenyl disulfido y methyl-1,2-propenyl disulfido, o un “tipo cebolla”, conteniendo predominantemente dipropyl disulfido y 1-propenyl propyl disulfido en la fracción del aroma.

Esta aseveración también se corresponde con la actividad de la enzima allinasa, la cual debe ser suficiente para garantizar la total conversión del cystein sulfoxido a componentes volátiles del aroma (Losák *et al.*, 2010). Leelarungrayub *et al.* (2006) correlacionaron una mayor actividad de esta enzima con la producción de diallyl monosulfido y diallyl disulfido en cebollín.

Una consideración importante es que los valores promedio de Allicin en el mejor tratamiento (12,38 mg.g<sup>-1</sup>) encontrados al momento de la cosecha son superiores a los 0,28 mg. g<sup>-1</sup> de ajo reportado por Cantwell *et al.* (2003). De igual

manera, son similares a los 12 mg.g<sup>-1</sup> reportados por Perotto (2008) en ajo morado argentino y superiores a 0,36 mg.g<sup>-1</sup> en extracto de cebollín (Leelarungrayub *et al.*, 2006) y 9,0 mg.g<sup>-1</sup> en ajo australiano (Sterling y Eagling, 2001). Las discrepancias en estos valores pueden ser atribuidas al genotipo y el método de análisis. Se ha demostrado que la síntesis de Allicin es diferente en algunas especies de *Allium* posiblemente por la ausencia de S-n-propyl-L-cystein Sulfoxido o la falta de un sistema de reducción capaz de formar derivados de n-propyl (Leelarungrayub *et al.*, 2006).

Las diferencias encontradas con respecto a otros estudios también podrían explicarse, además de los factores genéticos y ambientales (Sara *et al.*, 2005), a las condiciones de cultivo y el tiempo de cosecha (Sterling y Eagling, 2001), los cuales influyen en el estado fisiológico de la planta y pueden contribuir con las alteraciones cuantitativas de estos compuestos volátiles en los bulbos (Kopsell y Lefsrud, 2009). Variaciones significativas en las concentraciones de Allin, Isoallin y Allicin han sido determinadas entre accesiones y entre plantas de ajo crecidas bajo diferentes condiciones ambientales (Kamenetsky *et al.*, 2005).

Asimismo, la cantidad de precursores de S-alk(en)yl-L-cystein sulfoxido necesarios para aumentar el nivel de Allicin formado en el tejido de ajo puede provenir de aquellos  $\gamma$ -glutamyl peptidos acoplados (Lancaster y Shaw, 2001; Gorinstein *et al.*, 2008) y que no fueron detectados por la metodología utilizada. Por lo tanto, la concentración de este compuesto pudiera ser mayor, pero también se pueden producir pérdidas inevitables durante su purificación por la volatilidad de ellos (Hu *et al.*, 2002).

Por otra parte, en el Cuadro 49 se presenta la evolución del contenido de Allicin en los bulbos para el tratamiento de 50 plantas.m<sup>-2</sup> y 100 kg.ha<sup>-1</sup> durante el almacenaje a 25 ± 2 °C y 10 ± 2 °C, respectivamente. Se puede observar que a partir de los 30 días después del almacenaje (dda) los niveles de Allicin en los bulbos registraron una disminución significativa en las dos condiciones señaladas, aunque esta reducción fue más drástica durante el tiempo de almacenamiento a 25 °C comparado con las muestras colocadas a 10 °C, ya que en la primera condición la disminución fue 6,79 mg.g<sup>-1</sup> y en la segunda 2,62 mg.g<sup>-1</sup>.

Esta respuesta pudiera atribuirse a volatilidad del S-alk(en)yl-cystein sulfóxido por efecto de las altas temperaturas (Hu *et al.*, 2002), ya que el mantenimiento de las concentraciones de Allicin a bajas temperaturas (0 °C y 1 °C) fue observado previamente por Cantwell *et al.* (2003) y Sterling y Eagling (2001).

Cuadro 49. Cambios en el contenido de Allicin ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en el bulbo de ajo criollo morado, luego de 30, 60 y 90 días de almacenaje a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) y bajo refrigeración ( $10 \pm 2$  °C).

		Contenido de Allicin ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )					
Temperatura		$25 \pm 2$ °C			$10 \pm 2$ °C		
		Días después del almacenamiento					
TRATAMIENTO		30	60	90	30	60	90
50 plantas. $\text{m}^{-2}$							
100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$		15,44	10,47	8,65	15,87	14,57	13,25

En esta investigación se encontraron variaciones en los niveles de Allicin en las dos condiciones de almacenaje. Estos resultados no concuerdan con Huchette *et al.* (2005) quienes no encontraron efecto directo de la temperatura sobre las cantidades de su precursor Allin en bulbos de ajo, pero señalaron que ella pudiera interactuar con los carbohidratos y alterar su acumulación afectando la conversión de Allicin.

Bajo las condiciones de este ensayo, las variaciones en el contenido a Allicin observado en los bulbos de ajo morado comparado con otros genotipos pudiera estar relacionado con la presencia y proporción en la cual están acumulados sus precursores (Randle y Lancaster, 2002), también se ha señalado que el perfil del aroma y el sabor de estas especies está fuertemente relacionado con el material genético parental (Lancaster y Shaw, 2001; Leskovar *et al.*, 2009).

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

La densidad y las dosis de  $\text{KNO}_3$  favorecieron el crecimiento vegetativo de ajo morado. Las plantas crecidas en las parcelas menos densas y fertilizadas con las mayores dosis produjeron el mayor número de hojas, índice relativo de clorofila, índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa y biomasa del follaje.

La aplicación de  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  en campo resultó en un mayor vigor de crecimiento para la planta, lo cual pudiera atribuirse al rol de este elemento en la promoción de la actividad enzimática y en el aumento de la translocación de asimilados, así como la síntesis de proteínas en los tejidos.

La densidad y las dosis de  $\text{KNO}_3$  afectaron el proceso de formación del bulbo. Las plantas desarrolladas en las poblaciones de  $33,33 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$  y fertilizadas con  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  registraron la mayor biomasa del bulbo, diámetro ecuatorial, índice de bulbificación, tasa de asimilación neta y ritmo de crecimiento.

El coeficiente de partición de ajo no fue afectado por las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$ . En todas las poblaciones y dosis estudiadas no se observó una tendencia definida del efecto de estos factores sobre esta variable durante las fases de crecimiento del cultivo.

El rendimiento del ajo fue afectado por las densidades, pero no por las dosis de  $\text{KNO}_3$ . Las poblaciones de  $100 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$  presentaron los mayores rendimientos comparado con aquellas de  $33,33 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ ; mientras que las dosis de  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  tuvieron la tendencia a registrar los rendimientos más altos.

Los niveles de NPK en el tejido foliar de ajo presentaron respuestas muy variables a las densidades y dosis de  $\text{KNO}_3$  utilizadas. En los primeros 60 días de crecimiento, los niveles de NPK fueron mayores en las poblaciones de 100 plantas. $\text{m}^{-2}$  y con 25  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ ; al final del ciclo del cultivo estos elementos presentaron mayores valores en las densidades de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y en las dosis tuvieron respuestas diferenciales.

Las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  afectaron la extracción de NPK en ajo morado. Durante el ciclo del cultivo, en las poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y con 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  se extrajeron las mayores cantidades de NPK. La remoción de estos elementos se acentuó hacia los 60 días después de la siembra y se mantuvo hasta los 90 días, con excepción del fósforo que disminuyó drásticamente.

Durante el crecimiento de la planta de ajo se determinó la presencia de la giberelina  $\text{GA}_3$  en el tejido foliar, a los 30, 60 y 90 dds y en todos los tratamientos, con tiempo de retención (TR) de 4,85 minutos. La densidad de siembra y las dosis de  $\text{KNO}_3$  exhibieron un efecto significativo sobre los niveles de  $\text{GA}_3$  en el brote del ajo morado. Las plantas crecidas en las poblaciones de 33,33 plantas. $\text{m}^{-2}$  y fertilizadas con 100  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$  presentaron los mayores niveles de  $\text{GA}_3$ .

En este estudio la giberelina  $\text{AG}_3$  promovió la formación del bulbo de ajo morado hasta que alcanzó un nivel máximo de 0,5  $\text{mg}.\text{g}^{-1}$  en el tejido foliar, a partir del cual se produjo una reducción significativa que permitió la continuación del proceso de llenado del bulbo.

Las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo no afectaron el comportamiento de las variables físicas de calidad del ajo: porcentaje de pérdida de masa fresca, contenido de materia seca, índices de color (L y Chroma) y la firmeza durante el almacenamiento a 25 °C y 10 °C. Las pérdidas en masa fresca, materia seca, hue y firmeza fueron mayores en los bulbos almacenados a 10 °C comparado con aquellos colocados a 25 °C.

El índice de brotación del ajo fue afectado por la densidad, las dosis de  $\text{KNO}_3$  y la temperatura al momento de la cosecha y a los 30 días después del almacenaje; no obstante el efecto de la temperatura fue significativo durante el período de almacenamiento, siendo mayor el índice de brotación en los bulbos almacenados a 10 °C comparado con aquellos preservados a 25 °C.

Las densidades y las dosis de  $\text{KNO}_3$  aplicadas en campo afectaron el comportamiento de las variables químicas de calidad del ajo: sólidos solubles totales, acidez total titulable, pH, relación sólidos solubles/acidez y contenido de piruvato durante el almacenaje a 25 °C y 10 °C. Los sólidos solubles y la acidez total titulable fueron superiores en los bulbos provenientes de las densidades de 100 plantas.m<sup>-2</sup>, fertilizados en campo con 25 y 50 kg.ha<sup>-1</sup> y almacenados a 25 °C.

El porcentaje de ácido pirúvico se redujo sustancialmente durante el tiempo de almacenaje tanto a 25 °C como a 10 °C con un marcado efecto de la temperatura al final del período de almacenamiento.

Durante el almacenamiento, se observó una mayor disminución del pH de los bulbos colocados a 10 °C comparados con aquellos almacenados a 25 °C. Mientras que el contenido de piruvato presentó un incremento significativo al final del período de almacenaje en las dos condiciones estudiadas.

La temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) resultó mejor para la conservación del ajo en estado fresco ya que no afectó su calidad físico-química durante el tiempo de almacenaje. Mientras que la baja temperatura ( $10 \pm 2$  °C) afectó las variables físicas de calidad como la pérdida de masa fresca, contenido de materia seca, firmeza y el índice de brotación.

La densidad y la aplicación en campo de  $\text{KNO}_3$  tuvieron un efecto significativo sobre los niveles de Quercetina y Allicin en ajo morado. Los bulbos desarrollados en las

poblaciones de 33,33 plantas.m<sup>-2</sup> y fertilizadas con 50 y 100 kg.ha<sup>-1</sup> presentaron la mayor cantidad de estos compuestos.

Al momento de la cosecha y durante el almacenamiento del ajo morado a 25 °C y 10 °C se determinó la presencia de Quercetina 3-glucósido y Allicin con tiempos de retención de 12,8 y 5,71 minutos, respectivamente. Se registró una reducción significativa en estos compuestos durante el almacenaje a 25 °C y 10 °C, aunque las concentraciones en los bulbos fueron más estables a 10 °C.

### **Recomendaciones**

Estos resultados indican que para lograr un mayor rendimiento general expresado en kg.ha<sup>-1</sup>, indudablemente que se utilizarían las densidades más altas y las dosis intermedias de KNO<sub>3</sub> para aprovechar al máximo la superficie y ahorrar costos en fertilización, pero si se persigue la mejor calidad individual de los bulbos, se pueden utilizar las densidades más bajas y las mayores dosis de KNO<sub>3</sub>.

Se recomienda ensayar con mayores dosis de KNO<sub>3</sub> para establecer su efecto sobre el rendimiento y determinar en qué medida aumenta la producción del cultivo. La evaluación del estado nutricional del ajo indicó su eficiencia como fuente de potasio.

Las hojas jóvenes maduras de ajo constituyeron un buen indicador del estado nutricional del cultivo para evaluar el contenido de NKP, por lo tanto se recomienda su uso.

Existen evidencias de la presencia de otras giberelinas durante el desarrollo de la planta de ajo, sería importante probar con otros patrones de estos compuestos y monitorear más frecuente el crecimiento para dilucidar su rol fisiológico sobre la planta y el proceso de formación del bulbo.

Se recomienda probar otras dosis de  $\text{KNO}_3$  en campo y utilizar otros rangos de temperatura para preservar las variables físicas y químicas de calidad del ajo en el almacenamiento.

Para este material genético y bajo las condiciones de esta investigación se recomienda la temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) con el fin de mantener la calidad físico-química del ajo en estado fresco durante 90 días.

La baja temperatura (10 °C) provocó el gelado de los bulbos, por lo tanto se puede recomendar para el almacenaje de ajo destinado a semilla, ya que ésta se considera inductora del proceso de brotación del diente.

En este ensayo quedó demostrado que la técnica de HPLC constituye una metodología adecuada para separar y cuantificar giberelinas, flavonoides y organosulfurados en ajo morado. Estos resultados son relevantes no sólo desde el punto de vista cromatográfico sino que también ofrecen un perfil característico para el  $\text{AG}_3$ , la Quercetina 3-glucósido y el Allicin en ajo morado y en otros vegetales en los cuales estén presentes estos compuestos.

El paquete tecnológico generado durante esta investigación puede ser difundido entre los productores de ajo de Sanare en el Estado Lara, así como en todas las regiones productoras de este rubro en Venezuela, con el propósito de que puedan aprovechar la información científica registrada.

## LITERATURA CITADA

- Abdollah, M. 2009. Effect of planting dates and rows spacing on yield of dryland and irrigated cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Acta Hort.* 826: 301-308.
- Abubakar, A. 2001. Growth indices and bulb yield of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by inter and intra-row spacing. *Niger. J. of Agric. and Environment* 1 (2): 12-16.
- Achard, P., H. Cheng, L. De Grauwe, J. Decat y H. Schoutteten. 2006. Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. *Science* 311:91-94.
- Alabadí, D., J. Gil, M. Blázquez y J. L. García-Martínez. 2004. Gibberellins repress photomorphogenesis in darkness. *Plant Physiol.* 134:1050-57.
- Al-Karaky, G. N. 2000. Growth, water use efficiency and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *J. Plant Nutr.* 23 (1):1-8.
- Añez, B. y W. Espinoza. 2003. La fertilización química (N, P, K) y orgánica afectan el rendimiento del ajo. *Agricultura Andina (Extraordinario)*: 03-13.
- Ankri, S. y D. Mirelman. 1999. Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes and Infection* 2: 125-129.
- Appleford, N.E., D. J. Evans, J. R. Lenton, P. Gaskin y S. J. Croker. 2006. Function and transcript analysis of gibberellin-biosynthetic enzymes in wheat. *Planta* 223:568-82
- Arguello, J. A., L. Falcón, L. Seisdedos, S. Milrad y R. Botin. 2001. Morphological changes in garlic (*Allium sativum* L.) microbulblets during dormancy and sprouting as related to peroxidase activity and gibberellin A<sub>1</sub> content. *Biocell.* 25 (1): 1-9.
- Arguello, J. A., S. B. Nuñez y A. Ledesma, C. Rodríguez y M. del C. Díaz. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *HortScience* 41:589-592.
- Argüello, J. A., S. B. Nuñez y A. Ledesma. 1997. Bulbing physiology in garlic (*Allium sativum* L) cv Rosado Paraguayo. III. Nutrient in garlic plants: Its relation to growth dynamic and bulb morphogenesis. *Acta Hort.* 433: 417-425.
- Ariyama, K., T. Nishida, T. Noda, M. Kadokura y A. Yasui. 2006. Effects of fertilization, crop year, variety and provenance factors on mineral concentrations in onions. *J. Agric. and Food Chem.* 54: 3341-3350.
- Ariyama, K., Y. Aoyama, A. Mochizuki, Y. Homura, M. Kadokura y A. Yasui. 2007. Determination of the Geographic Origin of Onions between Three Main Production Areas in Japan and Other Countries by Mineral Composition. *J. Agric. and Food Chem.* 55: 347-354.
- Arnault, I., J. P. Christides, N. Mandon, T. Haffner, y R. Kahane. 2003. High-performance ion-pair chromatography method for simultaneous analysis of alliin, deoxyalliin, allicin and dipeptide precursors in garlic products using multiple mass spectrometry and UV detection. *J. Chromatogr.* 991 (1): 69-75.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1999. Official methods of analysis. Washington, D.C. USA.

- Bacón, J. K., A. N. Moates, C. Rhodes, C. Smith y W. Waldron. 1999. Quantitative analysis of flavour precursor and piruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa* L). Food Chemistry 64: 257-261.
- Baghour. M., E. Sánchez, J. M. Ruíz y L. Romero. 2001. Metabolism and efficiency of phosphorus utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous and potassium fertilization. J. Plant Nutr. 24: 1731-1743.
- Balibrea, M., C. Martínez, J. Cuarteto, M. Bolarín y F. Pérez. 2006. The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. Funct. Plant Biol. 33: 279-288.
- Ball, J. 1995. Don't Overlook Role of Potassium. Oklahoma State University. Stillwater, Okla. URL: <http://www.noble.org/Ag/Soils/RoleOfPotassium/index.html> (Consulta: Octubre 2011).
- Ballesteros, O., I. Toro, V. Sanz-Nebot, A. Navalón, J. L. Vílchez y J. Barboza. 2002. Separation and determination of the series of quinolone antibacterials regulated by the European Union for liquid chromatography. Optimization of the composition and pH of the mobile phase. Chromatographia 56: 413-421.
- Barbier-Brygoo, H., M. Vinauger, J. Colcombet, G. Ephritikine, J. Frachiss y C. Maurel. 2000. Anion channels in higher plants: Functional characterization, molecular structure and physiological role. Biochim. Biophys. Acta 1465: 199-218.
- Bender, D. 1993. Onions. In: W. Bennett (Ed). Nutrient Deficiencies and Toxicities In Crop Plant. Chapter 12. APS Press. USA. 202 p.
- Benincasa, P. y F. Tei. 2007. Plant density and genotype effects on wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) spear yield and quality. HortScience 42 (5): 1163-1166.
- Benkeblia, N., K. Ueno, S. Onodera y N. Shiomi. 2005. Variation of fructooligosaccharides and their metabolizing enzymes in onion bulb (*Allium cepa* L. cv. Tenshin) during long-term storage. Journal of Food Science 70 (3): 208-214.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo. Colorgraf S.A., Costa Rica. 307 p.
- Blanke, M. M. 2009. Regulatory mechanisms in source sink relationships in plant- a review. Acta Hort. 835: 13-20.
- Blanke, M., T. Cooke y C. Lovatt. 2004. Effect of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. Plant Growth Regul. 42: 153-162.
- Block, E. 1992. The organosulfur chemistry of the genus *Allium*: Implications for the organic chemistry of sulfur. Angew Chem. Int. Educ. Engl. 31: 1135-1178.
- Bloem, E., S. Haneklaus y E. Schnug. 2004. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on the alliin content of onion and garlic. J. of Plant Nutr. 27: 1827-1839.
- Bonaccorsi, P., C. Caristi, C. Gargiulli y U. Leuzzi. 2005. Flavonol glucoside profile of southern Italian red onion (*Allium cepa* L.). J. Agric. Food Chem. 53: 2733-2740.

- Boyhan, G., R. Torrence y C. Hill. 2007. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. *HortScience* 42: 653-660.
- Boyhan, G., R. Torrence, D. Curry, P. Lewis, D. Linton y C. Hill. 2002. Evaluation of transplant fertility os short-day onions in southeast Georgia. *HorScience* 37: 651-655.
- Boyhan, G., R. Torrence, R. Baklely, M. Cook y C. Hill. 2005. Evaluation of fertility practices for *Vidalia* onion. *HortScience* 40: 885-886.
- Brewster, J. 2001. Las cebollas y otros *Alliums*. Ed Acribia. España. pp 199-200.
- Brewster, J., F. M. Mondal y G.E. Morris. 1986. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.). IV. Influence on yield of radiation interception, its efficiency of conversion, the duration of growth and dry matter partitioning. *Ann. Bot.* 58: 221-223.
- Brink, P., N. Combrink y F. Knight. 2002. Evaluation of petiole nitrate measurement as an aid for N fertilization of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on sandy soils. *S. Afr. J. Plant Soil* 19:1-7.
- Brownmiller, C., L. Howard y R. Prior. 2009. Processing and storage effects on blueberry (*Vaccinium corymbosum*) polyphenolics. *Acta Hort.* 841: 347-354.
- Brummell, D. A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Funct. Plant Biol.* 33: 103119.
- Bybordi, A. y M. J. Malakouti. 2003. The effect of various rates of potassium, zinc and copper on the yield and quality of onion under saline conditions in two major onion growing regions of east Azarbayjan. *Agric. Sci. and Technol.* 17: 43-52.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521-530.
- Calderón, E., R. Serwatowsk, J. Cabrera, C. García. 2003. Siembra mecanizada del ajo: Métodos y Equipos. *Agrociencia* 37 (5): 483-493.
- Cantwell, M. I. 2004. Recommendations for maintaining postharvest quality. URL: [http://aestric.ucdavis.edu/postharvest2/Produce/Produce Facts/Veg/garlic.shtml](http://aestric.ucdavis.edu/postharvest2/Produce/Produce%20Facts/Veg/garlic.shtml). (Consulta: Noviembre 26, 2011).
- Cantwell, M. I., G. Hong, J. Kang, y X. Nie. 2003. Controlled atmospheres retard sprout growth, affect compositional changes, and maintain visual quality attributes of garlic. *Acta Hort.* 600: 791-794.
- Castagnino, A., P. Vásquez y A. Menest. 2006. Comportamiento del cultivo de espárrago verde a diferentes densidades iniciado mediante el sistema tradicional de arañas. *Agronomía Tropical* 56 (1): 1-11.
- Castellanos, J. Z., J. L. Ojodeagua, F. Méndez, S. Villalobos, V. Vadillo, P. Vargas y I. Lazcano. 2001. Requerimientos de fósforo en cultivos de ajo bajo fertirrigación. *Better Crops International* 15 (2): 21-23.
- Castellanos, J., P. Vargas, J. Ojodeagua, G. Hoyos, G. Alcántar, E. Álvarez y A. Gardea. 2004. Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size, planting density and planting method. *HortScience* 39 (6): 1272-1277.
- Chang, P. T. y W. Randle. 2004. Sodium chloride in nutrient solutions can affect onion growth and flavor development *HortScience* 39 (6): 1416-1420.

- Chartzoulakis, K., G. Psarras, S. Vemmos, M. Loupassaki y M. Bertaki. 2006. Response of two olive cultivars to salt stress and potassium supplement. *J. of Plant Nutr.* 29 (11): 2063-2078.
- Cho, J., S. K. Lee, B. S. Patil, E. J. Lee y K. S. Yoo. 2009. Separation of blue pigments in crushed garlic cloves: the color-forming potential of individual amino acids. 2009. *Acta Hort.* 841: 491-494.
- Cho, M., L. Howard, R. Prior y J. Clark. 2005. Flavonol glycosides and antioxidant capacity of various blackberry and blueberry genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *J. Sci. Food Agric.* 85: 2149-2158.
- Choi, S., S. K. Lee, J. E. Cho y R. N. Bae. 2008. Effects of storage temperature and CA conditions on postharvest quality of garlic bulbs (*Allium sativum* L.). *Hort. Environ. Biotechnol.* 49 (2): 109-113.
- Coolong, T. W. y W. M. Randle. 2003. Ammonium nitrate fertility levels influence flavour development in hydroponically grown `Granex 33` onion. *J. Sci. Food and Agr.* 83: 477-482.
- Coolong, T. W. y W. M. Randle. 2008. The effects of calcium chloride and ammonium sulfate on onion bulb quality at harvest and during storage. *HortScience* 43 (2): 465-471.
- Coolong, T. W., D. A. Kopsell, D. E. Kopsell y W. M. Randle. 2004. Nitrogen and sulfur influence nutrient usage and accumulation in onion. *J. Plant Nutr.* 27: 1667-1686.
- Cruz, J., F. Jiménez, J. Ruíz, G. Díaz, P. Sánchez y A. Arellanes. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana* 14 (1): 85-88.
- Currah, L y F. J. Proctor. 1990. Onions in tropical regions. Natural Resources Institute. Chatman, U.K. *Bulletin* 35: 144-163.
- Dai M, Zhao Y, Ma Q, Hu Y, Hedden P, et al. 2007. The rice *YABBY1* gene is involved in the feedback regulation of gibberellin metabolism. *Plant Physiol.* 144: 121-33.
- Daie, J. 1985. Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. *Horticultural Reviews*. Vol. 7: 69-108.
- Dale, K. y C. Schumann. 2005. Response of woodland-planted ramps to surface-applied calcium, planting density and bulb preparation. *HortScience* 40 (5): 1516-1520.
- Dazgan, H. Y. y K. Abak. 2003. Effects of plant density and number of shoots on yield and fruit characteristics of peppers grown in glasshouses. *Turk J. Agric. For.* 27: 29-35.
- Del Pozo, A. y A. M. González. 2005. Developmental responses of garlic to temperature and photoperiod. *Agricultura Técnica* 65(2):119-126.
- Del Pozo, A., M. I. González y C. Barraza. 1997. Phenological development of 13 clones of garlic (*Allium sativum* L): influence of temperature, photoperiod and cold storage. *Acta Hort.* 433: 389-393.
- Dickerson, G. W. 2005. Garlic Production In New Mexico. URL: <http://www.bignewsforgarlic.com/> (Consulta: Junio, 2011).

- Diez, M. de las Heras, I. Jaime, J. Rovira, M. Collado y A. Fombellida. 2010. Antioxidant capacity and pungency of `Horcal` onion under refrigerated storage. *Acta Hort.* 858: 875-879.
- Dorais, M., D. L. Ehret y A. P. Papadopoulos. 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: From the seed to the consumer. *Phytochem. Rev.* 7: 231-250.
- El-Desuki, A., M. Abdel-Mouty y A. Ali. 2006. Response of onion plants to additional dose of potassium application. *J. Applied Sci. Research.* 2 (9): 592-597.
- Eriksson S, Bohlenius H, Moritz T, Nilsson O. 2006. GA4 is the active gibberellin in the regulation of *LEAFY* transcription and *Arabidopsis* floral initiation. *Plant Cell* 18: 2172-81.
- Errebhi, M. A. y A. M. Moshileh. 2004. Effect of various potassium sulphate rates on growth, yield and quality of potato grown under sandy soil and arid conditions. *Amer. J. of Potato Res.* 80: 219-222.
- Errebhi, M., C.J. Rosen, y D.E. Birong. 1998. Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated "Russet Burbank" potato. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:23-35.
- Escalona, A. y R. Pire. 2008. Crecimiento y extracción de NPK por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L) abonadas con estiércol de pollo en Quibor, estado Lara. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 25: 243-260.
- Espinoza, F., E. M. Ríos y C. C. Elías. 2010. Determinación de fenoles totales, fructanos y pungencia en seis cultivares de ajos (*Allium sativum* L.) en Perú. *Rev. Soc. Quim. Perú* 76 (1): 101-109.
- Etoh, T. 1997. True seeds in garlic. *Acta Hort.* 433: 247-255.
- Etoh, T. y P. W. Simon. 2002. Diversity, fertility and seed production of garlic. En: H. D. Rabinowitch y L. Currah (ed). *Allium crops science: Recent advances.* CAB Intl. pp 101-117.
- Fanasca, S., G. Colla, Y. Rouphael, F. Saccardo, G. Maiani. E. Venneria y E. Azzini. 2006. Evolution of nutritional value two tomato genotypes grown in soilless culture as effected by macrocation proportions. *HortScience* 41: 1548-1588.
- FAOSTAT. 2010. FAO Statistical Database. Food and Agriculture Organization, New York. URL: <http://apps.fao.org/default.htm> (Consulta: Abril 17, 2012).
- Foo, E. J., D. Platten, J. L. Weller y J. B. Reid. 2006. PhyA and cry1 act redundantly to regulate gibberellin levels during de-etiolation in blue light. *Physiol. Plant.* 127:149-56.
- Gallego, L., S. Ubeda, C. Gisbert, J. García, T. Moritz y I. López. 2008. Gibberellin homeostasis in tobacco is regulated by gibberellins metabolism genes with different gibberellins sensitivity. *Plant & Cell Physiology* 49 (5): 679-690.
- Garbalo, A., M. del Olmo, A. González, A. Navalón, I. López, J. A. de Ferrer y J. L. Berna. 2002. Methodology for different resolution negrees of the homologues and isomers in comercial formulations by HPLC-FD. *Luminescence* 17: 224-227.
- García, E., M. Alviar y D. Barrett. 2002. Residual pectinesterase activity in dehydrated onion and garlic products. *J. Food Proc. Preserv.* 26: 11-26.
- Gaviola, S. y V. M Lipinski. 2002. Diagnóstico rápido de nitratos en ajo cv Fuego INTA con riego por goteo. *Ciencia del Suelo* 20 (1): 43-49.

- Gaviola, S. y V. M Lipinski. 2004. Evaluación de rendimiento y nitratos en ajo cv Nieve INTA con riego por goteo. *Agricultura Técnica* 64 (2): 172-181.
- Gaviola, S. y V. M Lipinski. 2008. Effect of nitrogen fertilization on yield and color of red garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Cien. Inv. Agr.* 35 (1): 57-64.
- Gennaro, L., C. Leonardi, F. Espósito, M. Salucci, G. Majani, G. Quaglia y V. Fogliano. 2002. Flavonoid and carbohydrate content in Tropea Red Onions: Effects of homelike peeling and storage. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1904-1910.
- Gil, J. y J. L. García. 2000. Light regulation of gibberellins A<sub>1</sub> content and expression of genes coding for GA 20-oxidase and GA 3 β-hydroxylase in etiolated pea seedlings. *Physiol. Plant* 180: 223-229.
- Gómez, F., W. Herppich, V. Gekas y I. Sjöholm. 2004. Factors affecting quality and postharvest properties of vegetables: Integration of water relations and metabolism. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 44: 139-154.
- Gómez, M. I., H. E. Castro, C. J. Gómez y O. F. Gutiérrez. 2007. Optimización de la producción y calidad en cebolla cabezona (*Allium cepa* L.) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn), en el Valle Alto del Río Chicamocha, Boyacá. *Agronomía Colombiana* 25 (2): 339-348.
- González, A., N. Nava, M. del Olmo y J. Vílchez. 1999. Determination of bisphenol in water by microliquid-liquid extraction followed by silylation and gas chromatography-mass spectrometry analysis. *J. of Chromatography Science* 36: 565-569.
- Gordon, E. A., y D. M. Barrett. 2003. Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *J. Sci. Food Agric.* 83: 1210-1213.
- Gorinstein, S., H. Leontowicz, M. Leontowicz, J. Namiesnik, N. Najman, J. Drzewieki y S. Trakhtenberg. 2008. Comparison of the main bioactive compounds and antioxidant activities in garlic and white and red onions after treatment protocols. *J. Agric. Food Chem.* 56 (12): 4418-4426.
- Grewal, H. S. y R. Williams. 2002. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. *J. of Plant Nutr.* 25 (4): 781-795.
- Gull, D., A. Cartagena y E. French. 1983. Análisis de calidad de tomate para lograr un mejor producto. IBTA/Prodes/UFLA. Cochabamba, Bolivia.
- Havlin, J. V., J. D. Beaton, S. L. Tisdale y W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.
- Hedden, P. y A. L. Phillips. 2000. Gibberellins metabolism: new insights revealed by the genes. *Trends Plant Sci.* 5: 523-530.
- Hedden, P., A. L. Phillips, M. C. Rojas, E. Carrera y B. Tudzynski. 2002. Gibberellin biosynthesis in plants and fungi: A case of convergent evolution? *J. Plant Growth Regul.* 20:319-31.
- Helliwell, C. A., J. A. Sullivan, R. M. Mould, J. C. Gray, W. J. Peacock y E. S. Dennis. 2001. A plastid envelope location of *Arabidopsis ent*-kaurene oxidase links the plastid and endoplasmic reticulum steps of the gibberellin biosynthesis pathway. *Plant J.* 28: 201-8.

- Hendriksen, K. y S. L. Hansen. 2001. Increasing the dry matter production in bulb onions (*Allium cepa* L.). *Acta Hort.* 555: 147-152.
- Heredia, A., A. Jiménez y R. Guillén. 1995. Composition of plant cell walls. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 200: 24-31.
- Hong, S. y D. Kim. 2001. Storage quality of chopped garlic as influenced by organic acids and high-pressure treatment. *J. Sci. Food and Agric.* 81 (4): 397-403.
- Horbowicz, M. y T. Kotlinska. 2004. Level of flavonols in wild and cultivated *Allium* species. *Acta Hort.* 517: 375-380.
- Hossain, M., M. Ashrafuzzaman, M. S. Hoque y M. A. Hoque. 2003. Effect of seed clove size and spacing on growth performance of garlic. *Muarik Bulletin* 6: 123-128.
- Hosseinpur, A. R. y A. A. Safari. 2005. Evaluating garlic available potassium with chemical extractants. *Soil Sci. and Plant Anal.* 35 (15): 2147-2159.
- Hosseinpur, A. R. y A. A. Safari. 2007. Soil potassium-release characteristics and the correlation of its parameters with garlic plant indices. *Soil Sci. and Plant Anal.* 38 (1): 107-118.
- Hu, Q., Q. Yang, O. Yamato, M. Yamasaki, Y. Maede y T. Yoshihara. 2002. Isolation and identification of organosulfur compounds oxidizing canine erythrocytes from garlic (*Allium sativum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 50: 1059-1062.
- Huchette, O., I. Arnault, J. Auger, C. Bellamy, L. Trueman, B. Thomas, S. Ochatt y R. Kahane. 2007. Genotype, nitrogen fertility and sulfur availability interact to affect flavour in garlic. (*Allium sativum* L.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 82: 79-88.
- Huchette, O., R. Kahane, J. Auger, I. Arnault y C. Bellamy. 2005. Influence of environmental and genetic factors on the alliin content of garlic bulbs. *Acta Hort.* 688: 93-99.
- Huett, D. O., N. A. Maier, L. A. Sparrow y T. S. Piggott. 1997. Vegetables. In: D. J. Reuter y J. B. Robinson (eds). *Plant Analysis an Interpretation Manual*. CSIRO Pub. Australia. 572 p.
- Iglesias, R. y R. Fraga. 1998. Conservación poscosecha de nuevas variedades de ajo irradiadas y sin irradiar. *Alimentaria* 85.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 2008. Principios y recomendaciones para la producción de ajo en los Andes Venezolanos. INIAHOY. Boletín N°3. URL: [http://www.inia.gov.ve/index.php?option=com\\_content&task=view&id=464&Itemid=154](http://www.inia.gov.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=464&Itemid=154). (Consulta: Abril 12, 2012).
- Itoh, H., T. Tatsumi, T. Sakamoto, K. Otomo y T. Toyomasu. 2004. A rice semidwarf gene, *Tan-Ginbozu* (D35), encodes the gibberellin biosynthesis enzyme, *ent-kaurene oxidase*. *Plant Mol. Biol.* 54: 533-47.
- Jacqueline, J. 2010. Informe sobre el mercado mundial del ajo. URL: [www.copel.com.ar/mendozainforme/edito/jime/10.10\\_0.1.htm](http://www.copel.com.ar/mendozainforme/edito/jime/10.10_0.1.htm). (Consulta: Diciembre 10, 2011).
- Jakson, S., P. James, E. Carrera, S. Pratt y B. Thomas. 2000. Regulation of transcript level of a potato gibberellin 20-oxidase gene by light and phytochrome B. *Plant Physiol.* 124: 423-430.
- Jones, L. y McMillan. 1990. Gibberellins. *Advanced Plant Physiology* 2: 21-25.

- Kamenetsky, R. 2007. Garlic: Botany and horticulture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33: 123-171.
- Kamenetsky, R., I. London, F. Khassanov, C. Kik y H. Rabinowitch. 2003. Garlic (*Allium sativum* L.) and its wild relatives from Central Asia: evaluation for fertility potential. Proceedings of the XXVIth International Horticultural Congress, Toronto, Canada. *Acta Hort.* 637: 83-91.
- Kamenetsky, R., I. London, F. Khassanov, C. Kik, A. Van Heusden, M. Vrieling, K. Burger-Meijer, J. Auger, I. Arnault y H. Rabinowitch. 2005. Diversity in fertility potential and organo-sulfur compounds among garlic from Central Asia. *Biodiversity and Conservation* 14: 281-295.
- Kamenetsky, R., I. London, H. Zemah, A. Barzilay y H. D. Rabinowitch. 2004. Environmental Control of Garlic Growth and Florogenesis. *J. of the Amer. Soc. for Hort. Sci.* 129 (2): 108-112.
- Kaneko, M., H. Itoh, M. Ueguchi-Tanaka, M. Ashikari y M. Matsuoka. 2002. The  $\alpha$ -amylase induction in endosperm during rice seed germination is caused by gibberellin synthesized in epithelium. *Plant Physiol.* 128:1264-70.
- Karaye, A. K. y A. I. Yakubu. 2006. Influence of intra-row spacing and mulching on leed growth and bulb yield of garlic (*Allium sativum* L.) in Sokoto, Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 5 (3): 260-264.
- Karim, A., H. Fukamachi y T. Hidaka. 2003. Photosynthetic performance of *Vigna radiate* L. leaves developed at different temperature and irradiance levels. *Plant Sci.* 164: 451-458.
- Kasuga, S., N. Uda, E. Kyo, M. Ushijima, N. Morihara y Y. Itakura. 2001. Pharmacological activities of aged garlic extract in comparison with other garlic preparations. *J. of Amer. Soc. for Nutr. Sci.* 22: 1080S-1084S.
- Kawsar, S., E. Huq, N. Nahar y Y. Ozeki. 2008. Identification and quantification of phenolic acids in *Macrotyloma uniflorum* by reversed phase-HPLC. *Amer. J. Plant Physiol.* 3: 165-172.
- Keusgen, M. 2002. Health and *Alliums*. In: Rabinowitch H.D. y Currah L. (eds) *Allium Crop Science: Recent Advances*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 357-378.
- Keusgen, M., H. Schulz, J. Glodex, I. Krest, H. Kruger, N. Herchert y J. Keller. 2002. Characterization of some *Allium* hybrids by aroma precursors, aroma profiles and allinase activity. *J. Agric. Food Chem.* 50: 2884-2890.
- Kik, C., R. Kahane y R. Gebhardt. 2001. Garlic and health. *Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases* 11 (4): 57-65.
- Kim, D. O., O. Padilla-Zakour y P. Griffiths. 2004. Flavonoids and antioxidant capacity of various cabbage genotypes at juvenile stage. *J. of Food Sci.* 69 (9): C685-C689.
- Kim, M. Y., Y. Kim y S. K. Chung. 2003. Identification and *in vitro* biological activities of flavonols in garlic leaf and shoot: inhibition of soybean lipoxygenase and hyaluronidase activities and scavenging of free radicals. *J. of the Sci. Food and Agric.* 85 (49): 633-640.
- Kim, S., A. Davis, P. Perkins, A. Helms y L. Stein. 2008. Effects of mineral nutrition on carotenoid content in spinach. *HortScience* 43 (4): 1246.

- Kim, S., S. Lee, D. Shin, S. Jang, J. Nam, T. Park y I. Lee. 2003. Quantification of endogenous gibberellins in leaves and tubers of Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) during tuber enlargement. *Plant Growth Regul.* 39 (2): 125-130.
- Ko, S., W. N. Chang, J. F. Wang, S. J. Cherng y S. Shanmugasundaram. 2002. Storage variability among short-day onion cultivars under high temperature and high relative humidity, and its relationship with disease incidence and bulb characteristic. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (5): 848-854.
- Koch, H. P. y L. D. Lawson. 1996. *Garlic: The science and therapeutic application of Allium sativum and related species.* Williams & Wilkins. Baltimore. 227 p.
- Kopsell, D. A. y M. G. Lefsrud. 2009. Pre-harvest cultural growing conditions can influence carotenoid phytochemical concentrations in vegetable crops. *Acta Hort.* 841: 283-293.
- Kopsell, D.E., W.M. Randle y M.A. Eitenman. 1999. Changes in the S-alk(en)yl cystein sulfoxide and biosynthetic intermediates during onion storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 177-183.
- Kouakou, M., S. Dabonne, S. Tagro y L. Kouame. 2010. Effects of post-harvest storage on some biochemical parameters of different parts of two yams species (*Dioscorea spp.*). *Afr. J. Food Sci. Technol.* 1(1): 001-009.
- Krest, I., J. Glodek y M. Keusgen. 2002. Biosensoric flow-through method for the determination of cysteine sulfoxides. *Analy. Chem.* 469: 155-164.
- Kubec, R., J. Velisek y M. Musah. 2002. The amino acid precursors and odor formation in society garlic (*Tulbaghia violacea* Harv.) *Phytochemistry* 60 (1): 21-25.
- Kubec, R., J. Velisek y M. Musah. 2007. Allium discoloration: the color-forming potential of individual thiosulfinates and amino acids: structural requirements for the color-developing precursors. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3491-3497.
- Kubec, R., M. Svobodová y J. Velisek. 2000. Distribution of A-alk(en)ylcysteine sulfoxide in some Allium species. Identification of a new flavor precursor S-ethylcysteine sulfoxide (ethiin). *J. Agric. Food Chem.* 48: 428-433.
- Kubec, R., S. Kim, D. McKeon y R. Musah. 2002b. Isolation of S-n-butylcysteine sulfoxide and six n-butyl-containing thiosulfinates from *Allium siculum*. *J. Natural Prod.* 65: 960-964.
- Lachover, D. 2004. The effect of potassium on a “Roma” variety of processing tomato, with special reference to potassium uptake, yield and quality. *Qual. Plant Mater. Veg.* 21 (3): 165-177.
- Lallemand, J., C. Messian, F. Briand y T. Etoh. 1997. Delimitation of varietal groups in garlic (*Allium sativum* L) by morphological, physiological and biochemical characters. *Acta Hort.* 433: 123-129.
- Lancaster, J. E. y M. J. Bolan. 1990. Flavour biochemistry. En: H. D. Rabinowitch and J. L. Brewster (eds). *Onion and allied crops.* Vol. III. CRC Press. Boca Raton, Fla. 33-72.
- Lancaster, J. E. y M. L. Shaw. 2001. Metabolism of  $\gamma$ -glutamyl peptides during development, storage and sprouting in onion bulb. *Phytochemistry* 30: 2857-2859.

- Lancaster, J. E., M. L. Shaw y E. F. Walton. 2000. S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides, allinase and aroma in *Leucocoryne*. *Phytochemistry* 55: 127-130.
- Lancaster, J. E., Triggs, C. M., Ruiter, J. M. y Gandar, P. W. 1996. Bulbing in onions: photoperiod and temperatura requirements and prediction of bulb size and maturity. *Ann. Bot.* 78: 423-430.
- Lauriente, D. H. 1996. Potash. CEH Marketing research report. Chemical economics handbook. SRI International.
- Le Guen, S., A. Hourmant, F. Esnault y J. Chauvin. 2002. In vitro bulb development in shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum Group): Effects of anti-gibberellins, sucrose and light. *Ann. Bot.* 89 (4): 419-425.
- Ledesma, A., S. B. Nuñez y J. A. Argüello. 1997. Bulbing physiology in garlic (*Allium sativum* L) cv Rosado Paraguayo. II. Characterization of the ontogenic stages by shoot growth dynamics and its relation to bulbing. *Acta Hort.* 433: 405-416.
- Lee, B. J. y N. Lee. 2000. Potassium, light and temperature on *Phalaenopsis* leaf yellowing. *J. Chinese Soc. Hort. Sci.* 46: 491.
- Lee, D. J. y J. A. Zeevaart. 2007. Regulation of gibberellin 20-oxidase1 expression in spinach by photoperiod. *Planta* 226:35-44.
- Lee, E. J., K. S. Yoo, B. S. Patil, J. E. Cho y S. K. Lee. 2008. Changes in pungency and flavor precursor compounds in four onion cultivars by applying extra sulfur nutrition. *HortScience* 43 (4): 1078.
- Lee, E. J., K. S. Yoo, B. S. Patil, J. E. Cho y S. K. Lee. 2009. Flavor precursors and amino acids involved in blue-green pigment formation in crushed garlic cloves. *Acta Hort.* 841: 541-544.
- Leelarungrayub, N., V. Rattanapanone, N. Chanarat y J. Gebicki. 2006. Quantitative evaluation of the antioxidant properties of garlic and shallot preparations. *Nutrition* 22: 266-274.
- Leigh, R. A. 2001. Potassium homeostasis and membrane transport. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164 (2): 193-198.
- Leskovar, D. I., K. Crosby y J. L. Jifón. 2009. Impact of agronomic practices on phytochemicals and quality of vegetable crops. *Acta Hort.* 841: 317-322.
- Lewis, A., L. Ojeda y O. Muñoz. 1995. Influencia de la densidad de población sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) cv. Vietnamita. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 39: 23-26.
- Lin, C. Y. y D. M. Yeh. 2008. Potassium nutrition affects leaf growth, anatomy and macroelements of *Guzmania*. *HortScience* 43 (1): 146-148.
- Lin, S., B. Sattelmacher, E. Kutzmutz, K. Muhling y K. Dittert. 2005. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport into tubers. *J. Plant Nutr.* 27 (2): 341-350.
- Lipinski, V. M., S. Gaviola y J. C. Gaviola. 2002. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de cebolla cv Cobriza INTA con riego por goteo. *Agricultura Técnica* 62 (4): 574-582.
- Lloveras, J. Ferran, J. Boixadera, J. y Bonet J. 2001. Potassium fertilisation effects on Alfalfa in a Mediterranean climate. *Agron. J.* 93: 139-143.
- López E. 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, Querétaro, México., 128 p.
- Losák, T., J. Hlusék, S. Kraemar y A. Martensson. 2010. Effect of nitrogen and sulfur fertilization on yield, nitrates and cysteine and methionine content in onion (*Allium cepa* L.). *Acta Hort.* 852: 297-301.
- Macmillan, C.P., C. A. Blundell y R. W. King. 2005. Flowering of the grass *Lolium perenne*: effects of vernalization and long days on gibberellin biosynthesis and signaling. *Plant Physiol.* 138:1794–806.
- Makris, D. y J. T. Rossiter. 2001. Domestic processing of onion bulbs (*Allium cepa* L.) and asparagus spears (*Asparagus officinalis*): Effect on flavonol content and antioxidant status. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3216-3222.
- Man, L. K. 1952. Anatomy of the garlic bulb and factors affecting bulb development. *Hilgardia* 21 (8): 195-251.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 4ta Edic. Academic Press, New York.
- Marschner, H., E. Kirby y I. Cakmak. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *J. of Exp. Botany* 47: 1255-1263.
- Mattila, P., J. Astola y J. Kumpulainen. 2000. Determination of flavonoids in plant material by HPLC with diode-array and electro-array detections. *J. Agric. Food Chem.* 48 (12): 5834-5841.
- McCallum, J., N. Porter, B. Searle, M. Shaw, B. Bettjeman y M. McManus. 2005. Sulfur and nitrogen fertility affects flavour of field-grown onions. *Plant Soil* 269: 151-158.
- McGuire, R. 2002. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27 (12): 1254-1255.
- Mengel, K. 1997. Impact of potassium on crop yield and quality with regard to economical and ecological aspects. In: International Potash Institute (ed) Proceedings of the IPI Regional Workshop on: Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization. Bern, Suiza. pp. 157-174.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. 5<sup>th</sup> ed. Dordrecht. Boston/London. 549 p.
- Meza H. S. 2005. Estudio de homogenización de la brotación de ajo destinado para siembra y fisiología de ajo minimamente procesado. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química, Querétaro, México. 138 p.
- Micheli, F. 2001. Pectin methylesterases: Cell wall enzymes with important roles in plant physiology. *Trends Plant Sci.* 6: 414-419.
- Miean, K. y S. Mohamed. 2001. Flavonoids (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin and apigenin) content of edible tropical plants. *J. Agric. Food Chem.* 49 (6): 3106-3112.
- Miedema, P. 1994. Bulb dormancy in onion. I. Effects of temperature and cultivar on sprouting and rooting. *J. Hortic. Sci.* 69: 29-39.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB). 2009. Ordenamiento y Administración Ambiental. URL: <http://www.minamb.gov.ve/index>. (Consulta: Febrero 17, 2010).

- Miron, T., M. Mirochik y D. Mirelman y A. Rabinkov. 2003. Inhibition of tumor growth by novel approach: in situ alliin generation using alliinase delivery. *Mol. Cancer Therapy* 2: 1295-1301.
- Mochizuki, E., A. Nakayama, Y. Kitada, K. Saito, H. Nakazawa, S. Suzuki y M. Fujita. 1998. Liquid chromatographic determination of alliin in garlic and garlic products. *J. Chromatogr.* 455: 271-277.
- Mogren, L. M., M. E. Olson y U. E. Gertsson. 2007b. Quercetin content in stored onion (*Allium cepa* L.): Effects of storage conditions, cultivar, lifting time, and nitrogen fertilizer level. *J. Sci. Food Agric.* 87: 1595-1602.
- Mogren, L. M., M. E. Olson y U. E. Gertsson. 2009. The role of pre- and post-harvest factors on the content of the flavonoid quercetin in yellow onion (*Allium cepa* L.). *Acta Hort.* 841: 335-337.
- Mogren, L., U. Gertsson y M. Olsson. 2005. Postharvest aspects on bioactive compounds in yellow onion (*Allium cepa* L.). *Acta Hort.* 682: 535-536.
- Moinudin, S., K. Singh, S. Bansal y N. Pasricha. 2005. Influence of grade levels of potassium fertilizer on growth, yield and economic parameters of potato. *J. Plant Nutr.* 27 (2): 239-259.
- Moritzuka, N. y S. Matsumoto. 2006. An experimental approach to quantifying chemical and positional availability of soil potassium. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 52: 61-70.
- Mujica, H. 2002. Efecto de los reguladores de crecimiento y de la concentración de sacarosa sobre la bulbificación in vitro de ajo (*Allium sativum* L.) tipo morado. Trabajo de Grado de Maestría. UCLA. Barquisimeto.
- Mujica, H. y M. Pérez de C. 2006. Cambios en las características físicas y químicas del ajo (*Allium sativum* L.) cosechado en dos estados de madurez. *Bioagro* 18 (3): 171-175.
- Muñoz, M. G., F. Carricondo, A. González, E. J. Alonso, A. Navalón y J. L. Vílchez. 2001. Determination of carbetamide in water by micro liquid-liquid extraction followed by HPLC. *J. of Liquid Chromatography and Related Technologies.* 24: 355-366.
- Ngouajio, M. 2008. Changes in onion (*Allium cepa* L.) yield and grade distribution in response to cover crop and plant population. *HortScience* 43 (4): 1138.
- Ninfali, P. y M. Bacchiocca. 2003. Polyphenols and antioxidant capacity of vegetables under fresh and frozen conditions. *J. Agric. Food Chem.* 51: 222-226.
- Nishimura, H., T. Takahashi, C. Wijaya, A. Satoh y T. Ariga. 2000. Thermochemical transformation of sulfur compounds in Japanese domestic *Allium victorialis* L. *Biofact.* 3: 257-263.
- Nowak, R. y U. Gawlik. 2007. Polyphenols of *Rosa* L. leaves extracts and their radical scavenging activity. *Z. Naturforsch.* 62c: 32-38.
- Nuevo, P. y O. Bautista. 2001. Morpho-anatomical features and postharvest changes in garlic (*Allium sativum* L) harvested at different maturities. *Acta Hort.* 555: 195-203.
- Nuñez, S. B., A. Ledesma, E. Milanesi, M. Dubois, M. Cerana y J. Argüello. 1997. Bulbing physiology in garlic (*Allium sativum* L) cv Rosado Paraguayo. I.

- Morphophysiological characterization of the inductive and morphological state of bulbing. *Acta Hort.* 433: 395-403.
- Nurmi, A., T. Nurmi, J. Mursu, R. Hiltunen y S. Voutilainen. 2006. Ingestion of oregano extract increases excretion of urinary phenolic metabolites in humans. *J. Agric. Food Chem.* 54: 6916-6923.
- O'Neill, D. P., J.J. Ross y J. B. Reid. 2000. Changes in gibberellins A<sub>1</sub> levels and response during de-etiolation of pea seedlings. *Plant Physiol.* 124: 805-812.
- Oh, Y., S. Yamauchi, N. Takeda-Kamiya, A. Hanada, M. Ogawa y A. Kuwahara A. 2007. Contribution of gibberellin deactivation by AtGA2ox2 to the suppression of germination of dark-imbibed *Arabidopsis thaliana* seeds. *Plant Cell Physiol.* 48:555-61.
- Oliveira, C., R. Souza y J. Mota. 2003. Determination date for garlic cultivars. *Hortic. Bras.* 21 (3): 506-509.
- Olszewski, N., T. Sunb y F. Gublerc. 2002. Gibberellin signaling biosynthesis, catabolism, and response pathways. *The Plant cell.* 14: 561-580.
- Orthen, B. 2001. Sprouting of the fructan and starch storing geophytes *Lachenallia minima*: Effects on carbohydrate and water content within the bulbs. *Physiologia Plantarum* 13 (3): 308-314.
- Otsuka, M., H. Kenmoku, M. Ogawa, K. Okada y W. Mitsunashi. 2004. Emission of *ent*-kaurene, a diterpenoid hydrocarbon precursor for gibberellins, into the headspace from plants. *Plant Cell Physiol.* 45:1129-38.
- Palmer, G. H. 1989. Cereal science and technology. Palmer eds. 442 p.
- Papadopoulos, A. P. y S. Pararajasinghan. 1997. The influence of the plant spacing on Light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *A Rev. Scientia Hort.* 9: 1-29.
- Penfield, S., E. M. Josse, R. Kannangara, A. D. Gilday, K. J. Halliday, I. A. Graham. 2005. Cold and light control seed germination through the bHLH transcription factor SPATULA. *Curr. Biol.* 15:1998-2006.
- Pérez, de C. M., J. Carew y N. Battey. 2005. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la fresa cv Elsanta. *Bioagro* 17 (1): 1-7.
- Pérez, R. 2000. Postharvest research and training: A powerful development tool in developing countries. *HortScience* 35 (3): 472-478.
- Pérez, R. M., M. S. García, J. Simalgandara, A. Rodríguez y D. P. Almeida. 2010. Identification and quantification of flavonoids in traditional cultivars of red and white onion at harvest. *J. Food Comp. and Analysis* 23 (6): 592-598.
- Perotto, M. C., V. Conci, E. Cafrune, P. Alochis y R. Bracamonte. 2008. Differences in the response of garlic cultivars to the eradication of five viruses. *Phyton Intern. J. of Experim. Botany* 25: 233-240.
- Pezzutti, A. y G. Crapiste. 1997. Color changes during dehydration of onion (*Allium cepa* L) and garlic (*Allium sativum* L). *Acta Hort.* 433: 455-462.
- Plank, C. O. 1992. Plant analysis reference procedures for the southern region of the United State. Ser. Bul. 368. Georgia, USA. 24 p.
- Plénet, D., A. Mollier y S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant Soil* 224: 1591-1598.

- Portela, J. A. 1996. El ambiente como regulador del desarrollo de las plantas. Su efecto sobre el ajo (*Allium sativum* L.). Avances en Horticultura 1 (1): 19-40.
- Portela, J. A. 2001. Genetic and environmental effects influencing branching in garlic (*Allium sativum* L.). Acta Hort. 555: 175-178.
- Pozzo, A., M. Abrameto, G. Pellejero, G. Aschkar, I. Gil y A. Van Konijnenburg. 2005. Efecto del período de conservación sobre algunas propiedades nutraceuticas y organolépticas en los bulbos de cultivares nacionales de cebollas (*Allium cepa* L.) en el valle inferior de Río Negro. RIA 34 (3): 115-130.
- Prisic, S. y R. J. Peters. 2007. Synergistic substrate inhibition of *ent*-copalyl diphosphate synthase: a potential feed-forward inhibition mechanism limiting gibberellin metabolism. Plant Physiol. 144:445-54.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology 51: 501-531.
- Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. Acta Horticulturae 653: 9-15.
- Rahim, M. A y R. Fordham. 2001. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. Acta Hort. 555: 181-188.
- Rahim, M. A. y R. Fordham. 1991. Effect of shade on leaf and cell size and number of epidermal cells in garlic (*Allium sativum* L.). Ann. of Botany 67: 167-171.
- Rahman, H. U., P. Hadley, S. Pearson y M. Dennett. 2007. Effects of incident radiation integral on cauliflower growth and development after curd initiation. Plant Growth Regul. 51: 41-52.
- Rakhimbaev, R. y R. V. Ol'shanskaya. 1981. Preliminary identification of natural gibberellins of garlic. Seriya Biogicheskaya 2: 17-22.
- Ramin, A. A. 1999. Storage potential of bulb onion (*Allium cepa* L.) under high temperatures. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 74 (2): 181-186.
- Ramírez, H. 2001. Growth and nutrient absorption of onion (*Allium cepa* L.) in the tropics in response to potassium nutrition. A thesis in partial requirements of the degree of Ph.D. Department of Agricultural Sciences. Imperial College at Wye, London University.
- Ramírez, M. E. 2000. Efecto de la temperatura y atmósferas controladas sobre el oscurecimiento y la calidad de ajo mínimamente procesado. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 128 p.
- Randle, W. M. 1997. Genetic and environmental effects influencing flavor in onion. Acta Hort. 433: 299-304.
- Randle, W. M. 2000. Increasing nitrogen concentration in hydroponic solution affects onion flavor and bulb quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125: 254-259.
- Randle, W. M. 2005. Advancements in understanding and manipulating *Allium* flavor: Calcium and chloride. Acta Hort. 688: 35-40.
- Randle, W. M. y J. E. Lancaster. 2002. Sulphur compounds in *Alliums*. In: Rabinowitch H.D. y Currah L. (eds) *Allium* Crop Science: Recent Advances. CAB International, Wallingford, UK, pp. 329-356.
- Randle, W. M., D. E. Kopsell y D. A. Kopsell. 2002. Sequentially reducing sulfate fertility during onion growth and development affects bulb flavor at harvest. HortScience 37 (1): 118-121.

- Rehm, G. y M. Schmitt. 2002. Fertilizer recommendations for edible beans in Minnesota. URL: <http://www.extension.umn.edu/Distribution/cropsystems/DC6572.html> (Consulta: Enero 16, 2008).
- Reid, J.B., N. A. Botwright, J. J. Smith, D. P. O'Neill y L.H. Kerckhoffs. 2002. Control of gibberellin levels and gene expression during de-etiolation in pea. *Plant Physiol.* 128:734-41.
- Reseman, J., G. Buffer, R. Carle y H. Liebig. 2001. Pungency and sprout growth of onion bulbs during storage. *Acta Hort.* 555: 245-247.
- Rhodes, M. y K. Price. 1997. Analysis of the major flavonol glycosides present in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) and changes in composition resulting from autolysis. *J. Sci. Food Agric.* 74: 331-339.
- Rodríguez, B., E. Rodríguez y C. Díaz. 2008. Flavonoids in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *J. of Food Sci.* 73 (8): 599-605.
- Rodríguez, D. B., L. S. Huber y R. Holfman. 2009. Flavonoids in Brazilian fruits and vegetables and their processed products. *Acta Hort.* 841: 295-301.
- Rosen, C. J. y C. B. Tong. 2001. Yield, dry matter partitioning and storage quality of hardneck garlic as affected by soil amendments and scape removal. *HortScience* 36 (7): 1235-1239.
- Ruiz, J. M., D. A. Moreno y L. Romero. 1999. Pyruvate kinase activity as an indicator of the level of K, Mg and Ca in leaves and fruits of the cucumber: The role of potassium fertilisation. *J. Agric. Food Chem.* 47 (3): 845-849.
- Russo, V. 2008. Plant density and N fertilizer rate on yield and nutrient content of onion developed from greenhouse grown transplants. *HortScience* 43: 1759-1764.
- Russo, V. 2009. Nutrient content and yield relation to top breakover in onion developed from greenhouse-grown transplants. *J. Sci. Food Agric.* 89:815-820.
- Rybak, M., E. Calvey y J. Harnly. 2004. Quantitative determination of allicin in garlic: supercritical fluid extraction and standard addition of alliin. *J. Agric. and Food Chem.* 52 (4): 682-687.
- Sainz, R. H., H.E. Echeverria, G.A. Studdert, y G. Dominguez. 2000. Evaluation of the pre-sidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1176-1183.
- Saleem, J. M. 2004. Studies on the management strategies for bulb and seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor Philosophy in Agriculture (Horticulture). Gomal University. Pakistán.
- Santamaría, P., V. Cantore, G. Conversa y F. Serio. 2004. Effect of night salinity level on water use, physiological responses, yield and quality of tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 59-66.
- Sanyal, D. y P. P. Dhar. 2008. Effects of mulching, nitrogen and potassium levels on growth, yield and quality of turmeric grown in red lateritic soil. *Acta Hort.* 769: 137-144.
- Sara, A., M. Bergquist, U. Gertsson, P. Knuthsen y M. Olsson. 2005. Flavonoids in baby spinach (*Spinacia oleracea* L.): Changes during plant growth and storage. *J. Agric. Food Chem.* 53 (24): 9459-9464.

- Sarah, M. M. 2005. Studies on some biologically active natural products from *Tulbaghia alliacea*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Chemistry at the University of the Western Cape. 172 p.
- Schwimmer, S. y W. Weston. 1961. Enzymatic development of piruvic acid in onion as a measure of pungency. *J. Agric. and Food Chem.* 9: 301-304.
- Sellappan, S. y C. Akoh. 2002. Flavonoids and antioxidant capacity of Georgia-grown *Vidalia* onions. *J Agric. Food Chem.* 50: 5338-5342.
- Seversike, T., L. Purcell, E. Gbur, P. Chen y R. Scott. 2009. Radiation interception and yield response to increased leaflet number in early-maturing soybean genotypes. *Crop Science* 49: 281-289.
- Sgroppo, S., B. de Ancos, M. Cano y J. Avanza. 2005. Modificaciones del contenido de Quercetina en cebollas por acción de microondas. *FACENA* 21: 93-102.
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Ann. Bot.* 92: 627-634.
- Shabala, S., O. Babourina y I. Newman. 2000. Ion-specific mechanisms of osmoregulation in bean mesophyll cell. *J. Exp. Bot.* 51: 1243-1253.
- Shadkchan, Y., E. Shemesh, D. Mirelman y T. Miron. 2004. Efficacy of alliin, the reactive molecule of garlic, in inhibiting *Aspergillus spp* in vitro, and in a murine model of disseminated aspergillosis. *J. of Antimicrobial Chemotherapy* 53: 832-836.
- Shah, J.J y I. Kothari. 1997. Histogenesis of the garlic clove. *Phytomorphology* 23: 162 – 170.
- Sharma, R. P., N. Datt y P. K. Sharma. 2003. Combined application of nitrogen, phosphorus and potassium and farmyard manure in onion (*Allium cepa* L) under high hills, dry temperatura contitions of north-western Himalayas. *Indian J. Agr. Sci.* 73: 225-227.
- Shiomi, N., N. Benkeblia, S. Onodera, N. Takahashi, M. Fujishima y T. Nagamine. 2008. Saccharide and fructooligosaccharide accumulation across leaf-bases during growth and bulb development of onion (*Allium cepa* L.). *Acta Agr. Hungarica* 56 (1): 431-437.
- Shock, C., E. Feibert y L. Saunders. 2004. Plant population and nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated onion. *HortScience* 39 (7): 1722-1727.
- Shock, C., E. Feibert y L. Saunders. 2005. Onion response to drip irrigation intensity and emitter flow rate. *Hort. Techn.* 15: 652-659.
- Show, W. S., M. C. Ball. y J. M. Anderson. 1990. Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: implications of K nutrition for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 563-578
- Silva, M. E. 2003. Preconcentración selectiva de fenoles contaminantes prioritarios y determinación por espectrofotometría ultravioleta-visible, cromatografía líquida de alta eficacia y cromatografía de gases-espectrometría de masas. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Singh, R. K. 2001. Current status of onion and garlic research in India and future prospects. *Nat. Hort. Res. and Dev. Found. News Letter* 21 (1): 1-11.
- Singh, R. K. y A. B. Berma. 2001. Response of onion (*Allium cepa* L.) to potassium application. *Indian J. Agronomy* 46 (1): 182-185.

- Singh, R. K. y S. B. Singh. 1999. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of rainy season onion (*Allium cepa* L.) raised from seedling. *Vegetable Sci.* 26 (1): 93-94.
- Singh, R. K., N. K. Jain y B. L. Poonia. 2001. Integratec nutrient management in rainy-season onion (*Allium cepa* L.). *Indian J. Agric. Sci.* 71 (85): 310-312.
- Singh, S. B. y R. K. Singh. 2004. Interaction effect of nitrogen, planting time and spacing on the performance of garlic (*Allium sativum* L) cv. Yamuna Safed. *Biochemical and Cellular Archives* 4 (2): 123-128.
- Slimestad, R., T. Fossen y I. Vágen. 2008. Onions: a source of unique dietary flavonoids. *J. Agric. Food Chem.* 55 (25): 1067-1080.
- Smolén, S. y W. Sady. 2009. The effect of various nitrogen fertilization and foliar nutrition regimes on the concentrations of nitrates, ammonium ions, dry matter and N-total in carrot (*Daucus carota* L.) root. *Scientia Horticulturae* 119: 219-231.
- Stahlschmidt, O., J. Cavagnaro y R. Borgo. 1997. Growth analysis of three garlic (*Allium sativum* L) cultivars with differences in yield. *Acta Hort.* 433: 427-434.
- Stavang, J.A., B. Lindgard, A. Erntsen, S. E. Lid, R. Moe y J. E. Olsen. 2005. Thermoperiodic stem elongation involves transcriptional regulation of gibberellin deactivation in pea. *Plant Physiol.* 138:2344-53.
- Sterling, S. J. y D. R. Eagling. 2001. Agronomics and allicin yield of Australian grown garlic (*Allium sativum* L.). *Acta Hort.* 555: 63-69.
- Stoll, A. y E. Seebeck. 1947. Alliin the pure mother substances of garlic oil. *Experientia* 3: 114-115.
- Sullivan, D. 2004. Nutrient management for onion in the Pacific Northwest. Oregon State University. 28 p.
- Suojala, T. 2001. Effect of harvest date on onion yield in a northern climate. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76 (6): 664-669.
- Tabaquirá, H. A. y R. Castro. 2003. Efecto de la fertilización y la densidad de población sobre el rendimiento y calidad de la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L) en condiciones agroecológicas de la granja Tesorito. *Agronomía (Universidad de Caldas, Colombia)* 11 (1): 18-32.
- Taíz, L. y E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.
- Takagi, H., 1990. Garlic *Allium sativum* L. In: Brewster, J.L. y Rabinowitch, H.D. (eds), *Onions and Allied Crops. Biochemistry, Food Science and Minor Crops*, vol. III. CRC Press, Boca Raton, pp. 109-146.
- Tanaka, M., K. Chee y S. Komochi. 1985. Studies on the storage of autumn-harvested onion bulb. I. Influence of storage temperature and humidity on sprouting during storage. *Res. Bul. Hokkaido Natl. Agr. Expt. Sta.* 141: 1-16.
- Tanimoto, A., N. Arima, R. Hayashi, T. Hamada, T. Matsuki, Y. Sasaguri. 2001. Teratoid carcinosarcoma of the ovary with prominent neuroectodermal differentiation. *Pathology International* 51 (10): 829-832.
- Tanimoto, E. 2005. Regulation of root growth by plant hormones-roles for auxin and gibberellins. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 249-265.

- Ueguchi, T. M., M. Nakajima, A. Motoyuki y M. Matsuoka. 2007. Gibberellin receptor and its role in gibberellin signaling in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58:183–98.
- Umar, S y J. Moinuddin. 2002. Genotypic differences in yield and quality of groundnut as affected by potassium nutrition under erratic rainfall conditions. *J. of Plant Nutr.* 25 (7): 1549-1562.
- Utrilla, V. M. 2008 Efecto de almacenamiento de la “semilla” y del metil jasmonato en el desarrollo y calidad de bulbos de ajo (*Allium sativum* L.). Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química, Querétaro, México. 123p.
- Vagen, I y R. Slimestad. 2008. Amount of characteristic compounds in 15 cultivars of onion (*Allium cepa* L.) in controlled field trials. *J. Sci. Food Agric.* 88: 404-411.
- Van der Sluis, A., M. Dekker, A. Jager y W. M. Jongen. 2001. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: Effect of cultivar, harvest year, and storage conditions. *J. Agric. Food Chem.* 49:3606-3613.
- Vásquez, M. E. 2005. Efecto de las temperaturas de pre-enfriamiento y niveles de irradiación del “diente semilla” sobre la producción, niveles endógenos de giberelinas, ácido abscísico y fructanos de ajo (*Allium sativum* L.) cvs. Taiwán y Perla. Tesis de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química, Querétaro, México. 182 p.
- Vásquez, M. E., G. López, E. Mercado, E. Castaño y F. León. 2006. Study and prediction of quality changes in garlic cv. Perla (*Allium sativum* L.) stored at different temperatures. *Scientia Hort.* 108: 127-132.
- Vílchez, J. L., A. Prieto, L. Araujo y A. Navalón. 2001. Determination of friponil by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *J. of Chromatography A.* 919: 215-221.
- Viloria, A., L. Arteaga, L. Díaz y D. Delgado. 2003. Efecto de la fertilización con N-P-K y la distancia de siembra sobre el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.). *Bioagro* 15 (2): 129-133.
- Volk, G. y D. Stern. 2009. Phenotypic characteristics of ten garlic cultivars grown at different North American locations. *HortScience* 44 (5): 1238-1247.
- Wall, M. y J. Corgan. 1994. Postharvest losses from delayed harvest and during common storage of short-day onion. *HortScience* 29: 802-804.
- Wang, M., M. Siddiqi y D. Glass. 1996. Interaction between  $K^+$  and  $NH_4^+$ : Effects on ion uptake by rice roots. *Plant Cell Environ.* 19: 1037-1046
- Wang, Y. T. 2007. Potassium nutrition affects *Phalaenopsis* growth and flowering. *HortScience* 42 (7): 1563-1567.
- Watkins, C. B. y M. P. Pritts. 2001. The influence of cultivar on postharvest performance of fruits and vegetables. *Acta Hort.* 553: 59-63.
- Wickramasinghe, U. L., C. J. Wright y L. Currah. 2000. Bulbing responses of two cultivars of red tropical onions to photoperiod, light integral and temperatura under controlled growth conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75 (3): 304-311.

- Wilkinson, S., Grunes, D., y Summer, M. 2000. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: Handbook of Soil Science, Summer, M. E. Ed. CRC Press. Boca Raton, Fla, 89-112.
- Wolbang, C. M., P. M. Chandler, J. J. Smith y J. J. Ross. 2004. Auxin from the developing inflorescence is required for the biosynthesis of active gibberellins in barley stems. *Plant Physiol* 134: 769–776.
- Xu, G. H. Magen, J. Tarchitzky y U. Kafkafi. 2000. Advances in chloride of plants. *Adv. Agron.* 68: 97-150.
- Xu, G., S. Wolf y U. Kafkafi. 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *J. Plant Nutr.* 25: 719-734.
- Xu, X., A. Van Lammeren, E. Vermeer y D. Vreugdenhil. 1998. The rol of gibberellin, abscisic acid, and sucrose in the regulation of potato tuber formation in vitro. *Plant Physiol.* 117: 575-548.
- Yamada, S., M. Osaka, T. Shinano, M. Yamada, M. Ito y T. Permana. 2002. Effect of potassium nutrition on current photosynthesized carbon distribution to carbon and nitrogen compounds among rice, soybean and sunflower. *J. of Plant Nutr.* 25 (9): 1957-1973.
- Yamaguchi, S. y Y. Kamiya. 2000. Gibberellin biosynthesis: Its regulation by endogenous and environmental signals. *Plant Cell Physiol.* 41, 251–257.
- Yamaguchi, S., J. McCallum, M. Shaw, M. Pither, S. Onodera, N. Shiomi, N. Yamauchi y M. Shigyo. 2008. Biochemical and genetic analysis of carbohydrate accumulation in onion (*Allium cepa* L.). *Plant & Cell Physiology* 49 (5): 730-739.
- Yamaguchi, S., Y. Kamiya, G. Bae, W. I. Chung y G. Choi. 2006. Light activates the degradation of PIL5 protein to promote seed germination through gibberellin in *Arabidopsis*. *Plant J.* 47:124–39
- Yamaguchi, S., Y. Kamiya, y T. Sun. 2001. Distinct cell-specific expression patterns of early and late gibberellin biosynthetic genes during *Arabidopsis* seed germination. *Plant J.* 28: 443–453.
- Yaxley, J. R., J. J. Ross, L. J. Sherriff y J. B. Reid .2001. Gibberellin biosynthesis mutations and root development in pea. *Plant Physiol* 125: 627–633.
- Yoo, K. S. y L. M. Pike. 2001. Determination of background pyruvic acid concentrations in onion, *Allium* species and other vegetables. *Sci. Hort.* 89: 249-256.
- Yoo, K. S., L. Pike, K. Crosby, R. Jones y D. Leskovar. 2006. Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment and bulb sizes. *Scientia Hort.* 110: 144-149.
- Zafra, A., M. del Olmo, R. Pulgar, A. Navalón y J. L. Vílchez. 2002. Determination of bisphenol-A and related compounds in human saliva by gas chromatography-mass spectrometry. *Chromatographia* 56: 213-218.
- Zambrano, J., H. Ramírez y J. Manzano. 1997. Effect of short term low temperature treatments on some quality parameters of onion. *Acta Hort.* 433: 543-547.