

Fisiología del crecimiento y la nutrición en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') en condiciones tropicales



Fánor Casierra Posada · Néstor Julián Vargas Pérez

Fisiología del crecimiento y la nutrición en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') en condiciones tropicales / Casierra Posada, Fánor ; Vargas Pérez, Néstor Julián. Tunja: Editorial UPTC, 2015. 156 p.

ISBN 978-958-660-219-8

1. Cebolla de bulbo. 2. *Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex'.

(Dewey 633/21).

Primera edición: 2015
200 ejemplares (papel)

Fisiología del crecimiento y la nutrición en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') en condiciones tropicales

ISBN 978-958-660-219-8

© Fánor Casierra Posada, 2015
© Néstor Julián Vargas Pérez, 2015
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2015

Gustavo Orlando Álvarez Álvarez, Rector UPTC

Comité Editorial

Celso Antonio Vargas Gómez, Mg.
Hugo Alfonso Rojas Sarmiento, Ph.D.
Liliana Fernández Samacá, Ph.D.
Luz Eliana Márquez, Mg.
Fánor Casierra Posada, Ph.D.
Jovanny Arles Gómez Castaño, Ph.D.
Rigaud Sanabria Marín, Ph.D.
Pablo Enrique Pedraza Torres, Ph.D.

Editora en jefe: Bertha Ramos Holguín
Coordinadora editorial: Ayda Blanco Estupiñán
Corrección de Estilo: Claudia Amarillo Forero
Diseño y diagramación: Lorena Orduz Valbuena

Libro financiado por la Vicerrectoría Académica y la Dirección de Investigaciones de la UPTC.

Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Citación: Casierra, F. y Vargas, N. (2015). *Fisiología del crecimiento y la nutrición en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') en condiciones tropicales*. Tunja: Editorial UPTC.

Editorial UPTC

Edificio Administrativo – Piso 4
Av. Central del Norte 39-115
comite.editorial@uptc.edu.co
www.uptc.edu.co

Impresión

Búhos Editores Ltda.
Diagonal 57 N.º 7-34
Tel.: (+57) 8 7440257
Tunja – Boyacá – Colombia

*A Yaneth,
quien me acompañó
con paciencia
durante la redacción
de este documento.*

*A Mauricio, Didier Jr.,
Carol, Jonathan, Sebastián,
Juan David, Esteban y Valentina,
a quienes deseo transmitir
el gusto por la academia.*

Fánor

*Yo planté, Apolos regó,
pero Dios ha dado el crecimiento.
Así que ni el que planta es algo,
ni el que riega, sino Dios,
que da el crecimiento.
Y el que planta y el que riega
son una misma cosa,
aunque cada uno recibirá su
recompensa conforme a su labor”.*

(1 Corintios 3: 6-8)

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), por su apoyo para el desarrollo del presente estudio; al equipo de trabajo del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC, por su amable colaboración durante los análisis de suelo y de tejidos vegetales; a Fabio E. Forero, docente en el área de suelos de la UPTC, por sus valiosos aportes a la redacción de este manuscrito.

CONTENIDO

| | |
|--------------------|----|
| INTRODUCCIÓN | 21 |
|--------------------|----|

CAPÍTULO UNO

| | |
|---|-----------|
| Materiales y métodos utilizados | 27 |
| Localidad | 27 |
| Material vegetal | 27 |
| Semillero | 27 |
| Trasplante | 28 |
| Fertilización | 29 |
| Análisis de tejidos | 29 |
| Análisis estadístico y presentación de resultados | 30 |
| Referencias | 31 |

CAPÍTULO DOS

| | |
|---|-----------|
| Características del sistema de producción de cebolla de bulbo en el altiplano cundiboyacense | 33 |
| Diagnóstico de los pequeños productores en Colombia | 34 |
| El sistema de producción de cebolla de bulbo en el altiplano cundiboyacense..... | 35 |
| Factores meteorológicos | 35 |
| Temperatura | 35 |
| Precipitación | 35 |
| Humedad relativa | 35 |
| Evaporación | 36 |
| Brillo solar | 36 |
| Topografía | 36 |
| Materiales vegetales | 37 |
| Uso actual de la tierra | 37 |
| Gestión empresarial | 38 |

| | |
|--------------------------------|----|
| Fertilización | 39 |
| Problemas fitosanitarios | 39 |
| Densidad de siembra | 40 |
| Riego | 40 |
| Mano de obra | 42 |
| Cosecha | 42 |
| Mercados | 43 |
| Referencias | 45 |

CAPÍTULO TRES

| | |
|--|----|
| Análisis del crecimiento en plantas de cebolla de bulbo | 49 |
| Morfología de la planta de cebolla de bulbo | 51 |
| Variables relacionadas con la acumulación de masa seca | 53 |
| Variables relacionadas con el área foliar | 62 |
| Variables relacionadas con las tasas de crecimiento | 68 |
| Referencias | 72 |

CAPÍTULO CUATRO

| | |
|---|-----|
| Dinámica de los elementos nutritivos | 79 |
| Generalidades sobre nutrición en cebolla de bulbo | 80 |
| Contenido de nitrógeno (N) | 81 |
| Contenido de fósforo (P) | 86 |
| Contenido de potasio (K) | 89 |
| Contenido de azufre (S) | 91 |
| Contenido de calcio (Ca) | 93 |
| Contenido de magnesio (Mg) | 96 |
| Contenido de hierro (Fe) | 99 |
| Contenido de manganeso (Mn) | 100 |
| Contenido de cinc (Zn) | 102 |
| Contenido de sodio (Na) | 104 |
| Referencias | 106 |

CAPÍTULO CINCO

| | |
|---|-----|
| Dinámica de las relaciones nutricionales: antagonismos y sinergismos | 111 |
| Relaciones antagónicas | 113 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| Relación N/P | 113 |
| Relación Mg/K | 115 |
| Relación K/Na | 117 |
| Relación Na/Ca | 119 |
| Relación Mg/Ca | 121 |
| Relación Ca/K | 123 |
| Relación Ca/Fe | 125 |
| Relación Mn/Ca | 126 |
| Relación Zn/Ca | 128 |
| Relación Fe/Mn | 129 |
| Relación K/N | 131 |
| Relación P/Fe | 132 |
| Relación Zn/P | 134 |
| Relación Fe/Zn | 135 |
| Relaciones sinérgicas | 136 |
| Relación Mn/K | 136 |
| Relación S/Mg | 138 |
| Relación S/N | 139 |
| Referencias | 141 |

CAPÍTULO SEIS

| | |
|---------------------------|-----|
| Conclusiones | 151 |
|---------------------------|-----|

| | |
|---------------------|-----|
| ANEXOS | 153 |
|---------------------|-----|

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1. Ecuaciones de regresión para el contenido de elementos nutritivos en hojas, bulbos y raíces de plantas de cebolla de bulbo híbrido 'Yellow Granex' desde 30 DDS hasta 170 DDT | 79 |
|---|----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Plántulas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L.) emergiendo de un semillero que había sido cubierto con cascarilla de arroz | 38 |
| Figura 2.2. Sistema de riego por aspersión en cebolla de bulbo, en Sáchica, Boyacá | 41 |
| Figura 2.3. Sistema de riego con cintas de exudación en cebolla de bulbo, en Sáchica, Boyacá | 41 |
| Figura 2.4. Plantas de cebolla agobiadas mecánicamente mediante el pase de una rastra (canequeo), con el propósito de inducir la maduración temprana de las plantas | 43 |
| Figura 3.1. Morfología de hojas y del cuello en plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L.). Detalle de la base superpuesta en las hojas | 52 |
| Figura 3.2. Peso seco total por planta registrado en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 54 |
| Figura 3.3. Masa seca total por planta registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.4 Asignación de masa seca a los diferentes órganos en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) hib. ‘Yellow Granex’ cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 59 |
| Figura 3.5 Relación alométrica raíz: parte aérea registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 60 |
| Figura 3.6 Masa seca cosechable o índice de cosecha registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 61 |
| Figura 3.7 Área foliar por planta registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto .. | 63 |
| Figura 3.8. Relación de área foliar registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto . | 65 |
| Figura 3.9 Área foliar específica registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 66 |
| Figura 3.10 Tasa de asimilación neta (TAN) registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 67 |
| Figura 3.11 Tasa de crecimiento absoluto (TCA) registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 69 |
| Figura 3.12 Tasa de crecimiento relativo (TCR) registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. ‘Yellow Granex’) cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 70 |
| Figura 4.1 Contenido de nitrógeno en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido ‘Yellow Granex’) en el trópico alto | 82 |
| Figura 4.2. Contenido de fósforo en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido ‘Yellow Granex’) en el trópico alto | 86 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.3. Contenido de potasio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 90 |
| Figura 4.4. Contenido de azufre en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 92 |
| Figura 4.5. Contenido de calcio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 94 |
| Figura 4.6. Contenido de magnesio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 97 |
| Figura 4.7. Contenido de hierro en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 99 |
| Figura 4.8. Contenido de manganeso en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 101 |
| Figura 4.9. Contenido de cinc en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 103 |
| Figura 4.10. Contenido de sodio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto | 105 |
| Figura 5.1. Relación N/P registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 114 |
| Figura 5.2. Relación Mg/K registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 116 |
| Figura 5.3. Relación K/Na registrada en plantas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto | 118 |

-
- Figura 5.4.** Relación Na/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 120
- Figura 5.5.** Relación Mg/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 122
- Figura 5.6.** Relación Ca/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 124
- Figura 5.7.** Relación Ca/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 126
- Figura 5.8.** Relación Mn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 127
- Figura 5.9.** Relación Zn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 128
- Figura 5.10.** Relación Fe/Mn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 130
- Figura 5.11.** Relación K/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 132
- Figura 5.12.** Relación P/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 133
- Figura 5.13.** Relación Zn/P registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 135
- Figura 5.14.** Relación Fe/Zn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 136
- Figura 5.15.** Relación Mn/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 137
- Figura 5.16.** Relación S/Mg registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 139
- Figura 5.17.** Relación S/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto 140

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo A. Resultado del análisis de suelo del lote experimental en el cual se realizó el presente estudio | 153 |
| Anexo B. Análisis de minerales en tejidos de plantas de cebolla de bulbo evaluadas en el presente estudio | 154 |
| Anexo C. Peso seco y área foliar registrados en plantas de cebolla de bulbo evaluadas en el presente estudio | 155 |

ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| AFE: | área foliar específica |
| Ca: | calcio |
| DDE: | días después de emergencia |
| DDS: | días después de siembra |
| DDT: | días después del trasplante |
| DRIS: | diagnosis and recommendation integrated system (sistema integrado de diagnóstico y recomendación) |
| EUL: | eficiencia en el uso de la luz |
| Fe: | hierro |
| FPC: | fotoperiodo crítico |
| HCl: | ácido clorhídrico |
| IAF: | índice de área foliar |
| IBM-SPSS: | IBM- statistical product and service solutions |
| K: | potasio |
| KCl: | cloruro de potasio |
| Mg: | magnesio |
| msnm: | metros sobre el nivel del mar |
| Mo: | molibdeno |
| MO: | materia orgánica |
| Mn: | manganeso |
| N: | nitrógeno |
| Na: | sodio |
| P: | fósforo |
| PRR: | pink root resistant – resistente a raíz rosada |
| RAF: | relación de área foliar |
| RFA: | radiación fotosintéticamente activa |
| S: | azufre |
| SDT: | semanas después del trasplante |
| TAN: | tasa de asimilación neta |
| TCA: | tasa de crecimiento absoluto |
| TCR: | tasa decrecimiento relativo |
| UPTC: | Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia |
| Zn: | cinc |

INTRODUCCIÓN

La cebolla es una de las hortalizas de mayor demanda y consumo en todo el mundo. Su demanda ha aumentado últimamente debido al mayor desarrollo económico de algunos países asiáticos altamente poblados, en los cuales, según la FAO, la oferta de cebollas frescas en 2013 representó el 64,9% de la oferta mundial, mientras que en las Américas esta oferta fue tan solo de 6,6%. La oferta de cebollas a nivel mundial es muy variable, pues la producción está determinada por la oferta ambiental. De acuerdo con las estadísticas de la FAO, la oferta de cebollas frescas mostró un incremento a nivel mundial de 61,4% entre 1993 y 2012. Por otra parte, el comportamiento de los precios internacionales depende del volumen de la oferta. El comportamiento del mercado interno de cebollas de bulbo es altamente variable y está muy influido por la reacción de los productores frente a temporadas de precios altos, lo que hace aumentar la oferta sin que necesariamente coincida con una demanda insatisfecha a nivel nacional. Además, existen situaciones poco previsibles que afectan la oferta-demanda y el precio de las cebollas, como los aumentos impredecibles de las lluvias en las regiones productoras, una fuerte sequía, o el cierre de vías por motivos de orden público.

En muchas partes del mundo, en la superficie cultivada en cebolla de bulbo se han adoptado sistemas de producción que utilizan excesivas cantidades de fertilizantes, los cuales han sido responsables de desequilibrios nutricionales en las plantas y de aumentar los riesgos de contaminación ambiental. El manejo racional de la fertilización de las plantas cultivadas en un marco de buenas prácticas agrícolas implica el desarrollo de metodologías de diagnóstico que optimicen los niveles de elementos nutritivos en los vegetales y mantengan la capacidad fotosintética del cultivo para asegurar la máxima producción. Si bien los fertilizantes químicos son una de las mejores opciones para incrementar y mantener los rendimientos en las plantas cultivadas, un desbalance nutrimental,

causado por exceso o deficiencia de un elemento nutritivo, así como también las relaciones antagónicas o sinérgicas entre los elementos, pueden causar una disminución severa en el rendimiento.

La nutrición vegetal involucra un conjunto de procesos mediante los cuales las plantas toman sustancias del ambiente y las transforman en masa seca y energía. Las plantas son organismos autótrofos, capaces de utilizar la energía de la luz solar para sintetizar todos sus componentes a partir del CO_2 , agua y elementos minerales. Diversos estudios en nutrición vegetal han demostrado que los elementos minerales específicos son esenciales para la vida. Estos elementos se catalogan como macronutrientes y micronutrientes, dependiendo de los contenidos relativos encontrados en el tejido de las plantas.

Existen ciertos síntomas aparentes que sirven como elementos diagnósticos de deficiencias de nutrientes en las plantas superiores. Algunas perturbaciones nutricionales pueden ocurrir porque los elementos tienen una función específica en el metabolismo de la planta. Estos sirven como componentes de compuestos orgánicos, en almacenamiento de energía, en conformación de estructuras de la planta, como cofactores enzimáticos y en las reacciones de transferencia de electrones. Por tanto, el análisis de suelo y de los tejidos de la planta puede proporcionar información nutricional valiosa del sistema suelo-planta y puede ser utilizado para sugerir acciones correctivas y así evitar los problemas con el crecimiento y el rendimiento que se presentarían en casos de deficiencias o toxicidades.

Es bien conocido que los diferentes órganos de las plantas representan la suma de sus procesos de crecimiento, los cuales están determinados por muchos factores del conjunto de la oferta ambiental. Estos componentes del ambiente no podrán ser ponderados de acuerdo con su importancia, ya que todos son fundamentales. Sin embargo, podría asegurarse que ninguno de ellos es más importante que la nutrición mineral. Se afirma esto no solamente porque los minerales proporcionan la base para la organización de los compuestos y la subsecuente composición y cuantía del material vegetal producido, sino también porque ejercen una marcada influencia reguladora que, con frecuencia, determina la respuesta de la planta a la ocurrencia de fisiopatías.

Los elementos nutritivos minerales determinan, entre otros procesos, la transición reversible del estado vegetativo al reproductivo, aceleran o retardan la velocidad de crecimiento, controlan la generación y maduración de semillas y frutos, modifican la susceptibilidad al calor y frío extremos, aumentan o disminuyen su resistencia a la sequía y determinan la calidad de los productos a través de la bioquímica de los hidratos de carbono, proteínas y productos naturales.

Uno de los factores que más influyen sobre el rendimiento y la calidad de las plantas cultivadas es su estado nutricional, cuya determinación requiere de análisis muy puntuales, ya que el estado nutricional es una característica 'encubierta' cuyos síntomas se hacen visibles cuando existe ya un balance inadecuado entre los elementos nutritivos. Por esta razón, los análisis de tejidos vegetales son el complemento indispensable de los análisis de suelo. Ambos son imprescindibles para lograr un diagnóstico acertado del estado nutricional del vegetal. En la actualidad, existe la posibilidad de suministrar nutrientes a través de sistemas de irrigación, tecnología a la cual, el cultivo de cebolla de bulbo no ha sido ajeno. Por tanto, los análisis de tejidos vegetales han venido adquiriendo una importancia cada vez mayor. En la medida en que avanzan los conocimientos sobre nutrición vegetal y los requerimientos nutrimentales de las plantas cultivadas en los diferentes estados fenológicos, el análisis de tejidos vegetales se ha convertido en una herramienta muy útil para lograr altos rendimientos. La determinación del estado nutricional de una planta, o del flujo de nutrientes hacia los órganos de la parte aérea durante la etapa de crecimiento, requiere de la precisión en el laboratorio de los elementos esenciales para el buen y normal desarrollo de las plantas.

A pesar de reconocer la importancia de los contenidos de elementos nutritivos en los órganos de las plantas cultivadas, las últimas investigaciones respecto al contenido de nutrientes en plantas, a la hora de abordar la nutrición vegetal, se basan en las interacciones iónicas que ocurren cuando el suministro de un nutriente afecta la absorción, distribución o función de algún otro. Los conocidos antagonismos y sinergismos entre los diferentes elementos son las interacciones y antagonismos que conducen, por lo general, a desequilibrios fisiológicos nutricionales que se manifiestan en los órganos de las plantas que se analizan. Los nutrientes en estado de iones pueden ejercer ciertas acciones

unos a otros que conducen a reducir o aumentar la absorción de otros. Se dice que hay antagonismo cuando un ion afecta la absorción de otro ion, cuando su concentración se aumenta en el medio de cultivo y su efecto llega a ser máximo cuando un ion supera la concentración de otro, alterando su dinámica y absorción en la planta. En muchas ocasiones dos elementos pueden comportarse como sinérgicos o antagónicos en función de sus proporciones relativas, de esta forma, si guardan un correcto equilibrio, se muestran como sinérgicos.

El éxito de las explotaciones agrícolas depende de que el crecimiento de los cultivos tenga lugar sin afectaciones negativas por parte de los componentes de la oferta ambiental. Si las plantas crecen y los rendimientos de las plantas cultivadas se encuentran dentro de los márgenes adecuados, el agricultor tendrá un alto rendimiento del cultivo, lo que redundará en beneficios económicos. De acuerdo con los criterios utilizados, el crecimiento, en términos muy generales, puede referirse al aumento irreversible en las dimensiones de algún órgano u órganos específicos de las plantas o de las plantas consideradas en su conjunto, y puede estar relacionado con la masa seca, la longitud, la altura o el diámetro; aunque se enfatiza que el crecimiento debe ser irreversible. La dinámica de todos estos parámetros se analiza en función del tiempo, tomando como punto de partida un instante en el cultivo, como el momento de la brotación, la emergencia de las plántulas o la germinación.

El modelo general del crecimiento en vegetales muestra pequeños crecimientos iniciales en tamaño, seguidos por un rápido crecimiento, después otro periodo durante el cual la planta o el órgano en cuestión crece lentamente o deja de hacerlo. Las curvas de crecimiento, por tanto, son útiles para una comprensión generalizada del proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas, y mediante esas curvas es posible programar algunas labores culturales importantes como el riego, la fertilización o los tratamientos fitosanitarios en los cultivos, entre otros, para finalmente obtener buenos rendimientos.

Teniendo en cuenta que las plantas elaboran su biomasa haciendo uso del agua, del CO_2 tomado del aire, de la energía solar incidente y de los nutrientes extraídos del suelo, para un óptimo crecimiento de la planta, los nutrientes deben estar en forma soluble en el suelo, presentarse en contenidos adecuados y equilibrados de

acuerdo con la fenología y los periodos críticos de demanda del cultivo, y deben también encontrarse en el suelo en una forma asequible al sistema radicular. Por tanto, es evidente la importancia de la nutrición en el crecimiento de las plantas, pero no solo se debe tomar en consideración el contenido de cada elemento, sino que también se deben analizar las interacciones entre ellos en el suelo y en el interior del vegetal.

En el cuerpo del presente trabajo, el lector podrá encontrar las representaciones gráficas de los contenidos de nueve elementos nutritivos esenciales para las plantas, además del sodio, el cual, a pesar de no ser considerado entre los elementos nutrientes, reviste gran importancia en las condiciones de los suelos en las zonas productoras de cebolla de bulbo en Boyacá, Colombia, pues se han reportado condiciones salinas en los suelos de algunos sectores. La dinámica del contenido de estos elementos en hojas, bulbos y raíces de las plantas de cebolla de bulbo, híbrido 'Yellow Granex', fue analizada y graficada a lo largo del ciclo productivo. Además se calcularon y graficaron diecisiete relaciones entre nutrientes, de las cuales catorce han sido reportadas como antagónicas y, tres de ellas, como sinérgicas. Además, con la información relacionada con el área foliar y la masa seca de las plantas, registrada cada quince días después del trasplante, se hizo un estudio básico del crecimiento de las plantas, mediante el cálculo y análisis de algunos índices de crecimiento.

Se espera que esta información sirva como base a los ingenieros agrónomos que asisten cultivos de cebolla de bulbo en la región, para hacer recomendaciones de labores culturales y de fertilización, acordes con una información registrada en las condiciones propias del trópico alto. Así mismo, se pretende motivar a los investigadores en las áreas de la fisiología y la nutrición vegetal para que enriquezcan esta información con trabajos adicionales en otras zonas y otras variedades de cebolla de ciclo de mayor o menor duración que el híbrido evaluado, a fin de lograr recomendaciones más precisas. Con esto se conseguiría una eventual disminución de los costos de producción, por un ahorro en las cantidades de fertilizantes, y, a su vez, se haría un aporte importante al manejo eficiente de la fertilización y nutrición de las plantas de cebolla bulbo, con resultados ambientalmente amigables y sostenibles.

Con el propósito de poner a la disposición de investigadores y críticos, la información primaria que dio origen a esta publicación, se incluyen los siguientes anexos: el anexo A, que presenta los resultados del análisis del suelo en el que se desarrolló el trabajo; el anexo B, que muestra los contenidos de elementos nutritivos registrados en los tejidos analizados, y, el anexo C, que señala los registros de peso seco y del área foliar.

CAPÍTULO UNO

Materiales y métodos utilizados

Localidad

La investigación de campo se desarrolló durante el segundo semestre del año 2009 y enero de 2010, en el municipio de Sogamoso, Boyacá, Colombia, sector Siatame. Esta localidad está ubicada en las siguientes coordenadas: 5°43'56,94"N y 72°56'02,19"O. El sector se encuentra a una altura de 2479 msnm y presenta una temperatura media de $17,0 \pm 2,0$ °C y una humedad relativa de $68,0 \pm 5,0\%$. El clima en la localidad es frío-húmedo el 70% del tiempo y frío-seco el 30% restante. Geográficamente, el valle de Sogamoso y el valle alto del río Chicamocha, están conformados por regiones semionduladas y algunas pequeñas elevaciones.

Material vegetal

Se utilizaron plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) del híbrido 'Yellow Granex' PRR (pink root resistant: resistente a raíz rosada). La enfermedad de la raíz rosada en cebolla de bulbo, es causada por *Pyrenochaeta terrestris*. Este material vegetal era comercializado por la compañía Sunblest®, hoy Nunhems®. Acorde con la información suministrada por DEAQ (2014), este híbrido presenta bulbos sólidos, achatados, con túnicas finas de color amarillo claro y cuello cerrado. El ciclo del cultivo es de 125-220 DDS, según las condiciones climáticas de la zona. Este híbrido se adapta a alturas entre 600-2600 msnm.

Semillero

Las semillas se colocaron en el semillero en agosto de 2009. Las dimensiones del semillero fueron: 2,0 x 10,0 m, las cuales se manejan tradicionalmente en

la región. Las semillas se cubrieron con cascarilla de arroz. En esta etapa no se hizo ninguna fertilización. Se realizaron pulverizaciones con fungicidas a base de Captan y Benomyl, para prevenir y contrarrestar el ataque de fitopatógenos. La primera toma de muestras se hizo a los 30 DDS, para lo cual se escogieron 30 plántulas por cada repetición, y una segunda muestra se tomó a los 50 DDS con el mismo número de plántulas por repetición. Inicialmente se había planteado la toma de las muestras cada dos semanas, pero como se observó que el material era muy pequeño e insuficiente para ser procesadas, se amplió el tiempo. La muestra correspondiente a los 50 DDS tuvo la particularidad de que en esta se efectuó un corte de la parte superior de las hojas, como lo hace el productor en los días previos al trasplante, para que haya una nueva emisión de hojas y no se vea afectada la plántula al momento del trasplante, de manera que se replicaron las labores practicadas por los agricultores en la región.

Trasplante

Se tomó una muestra de suelo en el sitio donde se establecerían definitivamente las plántulas, con el fin de conocer sus condiciones fisicoquímicas. Los resultados se muestran en el anexo A. El trasplante se hizo cuando las plantas del semillero habían cumplido 50 DDS. La recolección de muestras del material vegetal, en la etapa posterior al trasplante, se efectuó cada quince días, hasta los 110 días después de realizado el trasplante, y posteriormente se hicieron muestreos a los 130, 150 y 170 DDS. Se manejaron parcelas de 2,5 x 15,0 m, con tres repeticiones, con una distancia de siembra de 15 cm entre surcos y 15 cm entre plantas, con 13 surcos por parcela. La toma de muestras del material vegetal se hizo al azar y en zigzag. Se recolectaron aproximadamente 100g de material fresco de tallos, raíces y hojas, procedentes de cada una de las tres repeticiones. Estas muestras se trasladaron al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la UPTC, donde se realizó la medición del área foliar con el equipo Area Meter CID-102 (Bio-Science, USA). Cada uno de los órganos fue lavado y después pesado en una balanza electrónica; posteriormente se llevaron todos a la estufa a una temperatura de 70 °C, hasta que alcanzaran un peso seco constante. Finalmente, cada uno de los órganos fue pesado y preparado para el análisis de su contenido mineral.

Fertilización

En la etapa de semillero no se hizo ninguna fertilización edáfica. Sin embargo, diez días después del trasplante, se fertilizó en chorrillo, al lado de cada surco, con una mezcla 250 kg de grado 13-26-6 (Monómeros Colombo Venezolanos S. A.) + 250 kg de grado 12-24-24 (Nutrimón) + 250 kg de Nitrón 26-0-0 (Ferticol). Para un total de 750 kg de la mezcla de fertilizantes por hectárea. El Nitrón 26-0-0 es un fertilizante simple nitrogenado de nitrato de amonio granulado con una concentración de 26% de N. Esta formulación de fertilizantes se realizó a criterio del agricultor, con base en la fertilización que se maneja en la región. En la zona se acostumbra fertilizar los cultivos de cebolla de bulbo utilizando una mezcla de 50 kg de grado 13-26-6 + 50 kg de grado 12-24-24 + 50 kg de Nitrón 26-0-0, por cada libra de semilla de cebolla que se utilice en el semillero. Además, se debe aclarar que en la zona se utilizan cinco libras de semilla de cebolla de bulbo por hectárea.

La segunda fertilización se realizó a los 38 DDT (equivalente a 88 DDS), con una mezcla de 250 kg de grado 12-24-24 (Nutrimón) + 250 kg de grado 0-0-60 (KCl - Nutrimón) por hectárea. Para un total de 500 kg de la mezcla de fertilizantes por hectárea. Esta aplicación se hizo en chorrillo al lado de los surcos.

Análisis de tejidos

La fase correspondiente al análisis de las muestras de tejido vegetal se llevó a cabo en los laboratorios de Fisiología Vegetal y el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC.

Para las determinaciones de Mg, Ca, K y P, se tomó 1,0 g de materia vegetal seca, que se incineró en seco a 475 °C, durante 3-4 horas para reducirla a cenizas y se mineralizó con HCl concentrado. La extracción de los elementos minerales constituyentes del material vegetal se realizó por vía seca, acorde con Chapman y Parker (1973). Para la determinación de N, se efectuó una digestión micro-Kjedahl, para lo cual se tomaron 0,05 g de materia vegetal seca pulverizada. La muestra fue digerida con 5 ml de H₂SO₄ y 5 ml de H₂O₂ durante 3 horas a 300 °C, y diluida con agua destilada a un volumen final de 50 ml. El P se

determinó por el método colorimétrico del complejo vanado-molibdofosfórico, adaptado para un volumen final de 10 ml. El S se analizó por turbidimetría con BaCl_2 y glicerina, con lectura al colorímetro a 800 nm. Para la determinación de K, Ca y Mg, las muestras se diluyeron en solución de La_2O_3 al 5,0% acorde con la metodología propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002). A partir de esta dilución, se determinaron Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica, y K, por fotometría de llama. Los elementos menores (Fe, Mn, Zn,) y el Na se analizaron directamente del filtrado de la digestión, mediante el equipo de espectrofotometría de absorción atómica Unicam SOLAAR 969 (Unicam, UK).

Análisis estadístico y presentación de resultados

Con la información obtenida se efectuó un análisis de regresión entre la concentración de cada elemento de manera instantánea, en función del tiempo, en los diferentes órganos. El análisis de la información se hizo con el apoyo de la aplicación IBM-SPSS Statistics versión 20.0.0. De esta manera se describió la dinámica de cada elemento durante el ciclo de cultivo.

Los resultados del contenido de minerales de manera individual, en los diferentes órganos, se presenta en porcentaje para N, P, K, Ca, Mg y S. La información registrada para el Fe, Mn, Zn y Na se presenta en ppm. Para las curvas de las relaciones nutricionales, se hizo la conversión de las unidades de los elementos a porcentaje o ppm, de manera que tanto el numerador como el denominador estuvieran en las mismas unidades, con la intención de que las unidades de la fracción fueran comparables. En los casos en que en la literatura se mencionaban relaciones nutricionales con base en unidades disímiles entre el numerador y el denominador, se hizo la aclaración de las unidades entre paréntesis y, en algunos casos, cuando la información estaba disponible, se realizó la conversión de unidades a aquellas reportadas en el presente trabajo, con el propósito de establecer la comparación de los índices obtenidos. Además, con la información obtenida periódicamente, relacionada con la materia seca presente en los diferentes órganos y el área foliar de las plantas, se calcularon los índices de crecimiento, de acuerdo con las metodologías propuestas por Hunt (1990) y Radford (1967).

Referencias

- Chapman, H. & Parker, P. (1973). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México: Trillas. 195 pp.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. Boston: Unwin Hyman. 112 p.
- DEAQ (2014). Sección semillas. En: *Diccionario de especialidades agroquímicas*. (pp.1411-1454). Bogotá: Thomson PLM.
- Radford, P. J. (1967). Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Science* 7, 171-175.
- Rodríguez, H. & Rodríguez, J. (2002). *Métodos de análisis de suelos y plantas, criterios de interpretación*. México: Trillas. 196 p.

CAPÍTULO DOS

Características del sistema de producción de cebolla de bulbo en el altiplano cundiboyacense

El término “sistema” hace referencia al arreglo o conjunto de componentes, unidos o relacionados de modo que forman parte de un todo (Hart, 1980). Por su parte, la expresión “producción” se refiere a la generación de bienes a través del uso de trabajo, equipos y materiales. Por tanto, una aproximación al concepto de “sistemas de producción” es el conjunto de elementos organizados funcional y estructuralmente para generar bienes y servicios al ser humano a partir de los recursos naturales (Palacios, 2012).

Cada finca cuenta con características específicas que se derivan de la diversidad existente en cuanto a la dotación de recursos y a las circunstancias familiares. Por sistema de finca se entiende el conjunto del hogar agropecuario, sus recursos y los flujos e interacciones que se dan en el ámbito de una unidad productiva. Un sistema agropecuario, por su parte, se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones de la familia agropecuaria similares, y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares. La clasificación de los sistemas, que se basa en una serie de factores clave, incluye la base de recursos naturales disponible, el patrón predominante de actividades agrícolas y formas de subsistencia de los hogares agropecuarios, y su relación con los mercados y la intensidad de las actividades de producción (Dixon, Gulliver & Gibbon, 2001). De esta manera, el sistema de producción de cebolla de bulbo en la región de estudio, presenta particularidades que derivan de las circunstancias propias de la zona, como las condiciones agroecológicas de la región, el grado de escolaridad de los productores, la tradición en el manejo del cultivo, la disponibilidad de insumos y las situaciones del mercado, entre otros.

Diagnóstico de los pequeños productores en Colombia

Según las proyecciones de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), la población residente en el sector rural en Colombia, pasó de representar el 27,2% en 2000 al 24,1% en 2012. Además, la tasa de pobreza monetaria para 2011 se mantuvo en niveles significativamente altos, que alcanzan el 46,1%, esto es, 1,5 veces la pobreza urbana del mismo año. En el mismo sentido, el indicador de pobreza multidimensional indica que la tasa de incidencia en el área rural es 2,4 veces la del área urbana, es decir, 53,1 % versus 22,2%, respectivamente. Si bien es cierto que el arraigo y la tradición cultural son aspectos relevantes en el desarrollo de la población rural, el sector campesino desempeña un papel fundamental en la economía del país. Las actividades agropecuarias que allí se desarrollan se constituyen en garantes de la seguridad alimentaria del país y en un relevante generador de empleo.

En Colombia, en 2012, las actividades agropecuarias generaron el 62,3% del empleo en el sector rural, y quienes las ejecutan, en su mayoría, son considerados microfundistas y pequeños productores. A pesar de que la mayoría de los productores del sector agropecuario en Colombia son microfundistas, existe un fuerte desequilibrio en relación con el área que ocupan, puesto que según el Proyecto de Protección de Tierras desarrollado en 2010, los microfundios y la pequeña propiedad son aproximadamente el 80% y el 14% de los predios rurales y ocupan tan solo el 10% y el 19% de la superficie en hectáreas, respectivamente. Tomando en consideración el número de hectáreas y el número de predios, con la intención de calcular el tamaño promedio del microfundio y de la pequeña propiedad, estos son de 2,9 y 30 ha, respectivamente (Perfetti, Balcázar, Hernández & Leibovich, 2013).

Por su parte, según voceros del sector, los cultivadores de cebolla en Colombia están atravesando por una crisis enorme, puesto que en 2006 se cultivaban 3600 ha y en 2012 solo se siembran cerca de 1500 ha. En volumen de producto cosechado, anteriormente se producían 55000 toneladas y actualmente se cosechan alrededor de 20000. Lo que implica que en 2012 se tuvieron \$5000 millones en pérdidas (Sarabia, 2013).

El sistema de producción de cebolla de bulbo en el altiplano cundiboyacense

Factores meteorológicos

En Colombia, la cebolla de bulbo se produce en diversos climas, desde 12-28 °C, pero, en general, las mejores producciones se obtienen en climas entre 18-22 °C. Los mejores suelos para su cultivo son aquellos de tipo arcilloso, con pH entre 6,5-7,0 (Pinzón, Ospina & Báez, 2006). Se toma como referencia para este sistema productivo el municipio de Cucaita, Boyacá, puesto que en la región, se le reconoce como la “capital cebollera de Colombia”.

Temperatura: según los datos de las estaciones aledañas al municipio de Cucaita, la temperatura promedio multianual es de 14,6 °C, con una máxima de 23,2 °C y una mínima de 6,1 °C. La época de ocurrencia de heladas en esta zona generalmente se inicia a mediados del mes de diciembre y se extiende ocasionalmente hasta la primera quincena de marzo, coincidiendo con el periodo seco en la región. Se presentan heladas también, aunque con menor frecuencia, durante el segundo periodo seco del año (entre junio y agosto). El régimen de temperatura es generalmente bastante estable, donde los contrastes térmicos no son muy marcados y fluctúan con los cambios en la humedad atmosférica y la altura. Así, en términos absolutos, en el área, las diferencias máximas de temperatura media entre un mes y el siguiente son de 0,6 °C, y entre el mes más frío y el más cálido son de 1,8 °C (municipio de Cucaita, 2006).

Precipitación: la precipitación total anual en el municipio de Cucaita presenta un valor promedio de 760 mm. En cuanto a la frecuencia, la precipitación en la región tiene un comportamiento bimodal y alcanza sus niveles máximos en los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre, con valores que pueden superar los 100 mm por mes, y sus niveles más bajos corresponden a los meses de junio-agosto y diciembre-febrero, con valores que pueden llegar por debajo de 16 mm, los que no alcanzan a satisfacer las necesidades de agua para las actividades agrícolas y pecuarias (municipio de Cucaita, 2006).

Humedad relativa: el valor promedio de este factor climático en la región de Cucaita es de 79,8%. En el orden mensual, los valores de la humedad relativa

están vinculados a los periodos de máxima y mínima precipitación. Se presenta una menor humedad en los meses de menores lluvias, que comprenden desde diciembre hasta febrero y desde junio hasta agosto, y una mayor humedad en los meses de mayores lluvias, correspondientes a los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre. Estos cambios no son muy marcados y alcanzan a fluctuar alrededor de 5% (municipio de Cucaita, 2006).

Evaporación: los valores anuales de evaporación en la región del Alto Ricaurte, donde se encuentra el municipio de Cucaita, presentan una oscilación entre los 1200 mm y 1400 mm en el año. Para este municipio se ha registrado que la evaporación es mayor en los meses que presentan mayores temperaturas y menor en los de más bajas temperaturas (municipio de Cucaita, 2006).

Brillo solar: el promedio anual de brillo solar en los alrededores de Cucaita es de 2001,4 horas en el año. El mes con valores más elevados es enero con 257,7 horas y el de menor brillo solar es abril con 36,6 horas (municipio de Cucaita, 2006).

Topografía

Es importante resaltar que en gran parte del altiplano cundiboyacense, incluidos los municipios de la sabana de Bogotá y del valle de Sogamoso, los terrenos presentan topografía plana y existe una mediana disponibilidad de maquinaria. La preparación de los suelos se hace con aperos agrícolas, por lo que el número de jornales en esta actividad es menor, en comparación con predios en zonas quebradas de los departamentos de Cauca, Nariño, Norte de Santander y Antioquia.

En el municipio de Cucaita (Alto Ricaurte en Boyacá) el desarrollo de las actividades agrícolas se concentra en la región del valle donde la pendiente de los terrenos oscila entre 0-12%. Allí, el 26% de los suelos presenta síntomas severos de erosión y el 42% se encuentra amenazado seriamente por este proceso de degradación (Méndez & Viteri, 2007). La explotación excesiva del suelo y el uso inadecuado de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que inducen salinidad y la falta de incorporación de materia orgánica, han tenido como consecuencia la

degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos (Viteri, 2002).

Materiales vegetales

El híbrido de cebolla de bulbo más común en las zonas productoras es 'Yellow Granex', la cual presenta problemas en almacenamiento debido a su piel que es muy fina. En las últimas décadas, las evaluaciones de materiales vegetales importados se han orientado hacia híbridos tipo *sweet*, que no son tan picantes y presentan ventajas para almacenar por un periodo mayor a dos meses (Pinzón, 1996). El sistema de producción de las cebollas de bulbo se realiza usualmente a partir de un semillero y su cultivo se desarrolla en una diversidad de climas. El otro tipo de cebolla de bulbo que se produce en Colombia corresponde a la llamada 'ocañera', caracterizada por un sistema de propagación vegetativo a partir de bulbos. La planta produce de 1-10 bulbos, pero prevalecen plantas de 3-7 bulbos, los cuales presentan un color rojo pálido a rosado claro y un fuerte sabor picante, apetecido especialmente en la Costa Atlántica (Vergel, Jaramillo & Conde, 2003). Su cultivo se encuentra localizado entre 1200-1900 msnm, especialmente en la provincia de Ocaña, Norte de Santander (Pinzón, 2009).

Uso actual de la tierra

El cultivo de cebolla en la zona del Alto Ricaurte en Boyacá se desarrolla algunas veces en los suelos aún fértiles del valle, sin embargo también se cultiva cebolla en los suelos sometidos a procesos de erosión moderados y severos (Méndez, 2007).

En una encuesta, los cultivadores manifestaron que el 73 % de ellos realiza su propio semillero, mientras que el 27% restante lo trae de otra localidad (Méndez, 2007), pues en la zona ha surgido una serie de pequeñas empresas que se dedican a la comercialización de plántulas. Méndez (2007) anota que el área destinada al semillero es una parte de terreno preparada en parcelas de 1,0 m de ancho por 45,0 m de largo y 10 cm de alto; además, señala este autor que el suelo dedicado al semillero se debe preparar muy bien y nivelar para evitar encharcamientos. Sobre el área del semillero se dispersan las semillas al voleo. La totalidad de los

cultivadores de cebolla encuestados señalan que esta es la manera tradicional en la zona para la elaboración del semillero. El sistema de siembra al voleo indica que no se trazan guías, sino que, sencillamente, se distribuye la semilla de manera uniforme sobre el área. Luego se procede a tapar la semilla con “viruta pateada”, es decir, viruta de carpinterías que se ha utilizada para el transporte de animales y ha sido pisoteada por estos. En caso de no conseguir esta clase de viruta, se utiliza la viruta procedente de carpinterías. Otro producto usualmente utilizado para cubrir el semillero es la cascarilla de arroz (Fig. 2.1).



Figura 2.1. Plántulas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) emergiendo de un semillero que había sido cubierto con cascarilla de arroz.

Gestión empresarial

Melo, Melo y Rodríguez (2006) afirman que los cultivadores que hacen programación de cosechas se localizan en el valle de Samacá y en la zona del alto Chicamocha. En esta última región, se programa la cantidad que se va a sembrar, mientras que en la región de Samacá se realiza una programación de la época de cosecha. En cuanto al control de los lotes de producción, se destaca la

ausencia de sistemas de información y especialmente de registros de costos. En relación con la asistencia a capacitaciones sobre el cultivo de cebolla de bulbo, en la zona del alto Chicamocha existe una mayor diversidad de instituciones que programan actividades de aprendizaje para los productores; sin embargo, existe preferencia por las capacitaciones impartidas por casas comerciales, que, en opinión de los encuestados, se hacen con el propósito de incentivar el uso de agroquímicos de su propio portafolio.

Fertilización

La fertilización en este cultivo se realiza al voleo. En la zona de Sogamoso, Boyacá, en la etapa de semillero no se hace ninguna fertilización. Sin embargo, después del trasplante, se fertiliza en bandas, al lado de los surcos, con una mezcla 250 kg de fertilizante de grado 13-26-6 + 250 kg de grado 12-24-24 + 250 kg de Nitrón 26-0-0. Para un total de 750 kg de la mezcla de fertilizantes por hectárea. En la zona se acostumbra fertilizar los cultivos de cebolla de bulbo con una mezcla de 50 kg de grado 13-26-6 + 50 kg de grado 12-24-24 + 50 kg de Nitrón 26-0-0, por cada libra de semilla de cebolla que se utilice en el semillero. En la zona se usan cinco libras de semilla de cebolla de bulbo por hectárea plantada. La segunda fertilización o “reabonada” se efectúa alrededor de 45 DDT, con una mezcla de 250 kg de fertilizante de grado 12-24-24 + 250 kg de grado 0-0-60 (KCl) por hectárea. Para un total de 500 kg de la mezcla de fertilizantes por hectárea. Por su parte, Méndez (2007) anota que el 82% de los productores de cebolla de bulbo en la zona del Alto Ricaurte en Boyacá, utilizan una arroba (12,5 kg) de fertilizante por libra de semilla, luego del trasplante, mientras que el 18 % de ellos aplica dos arrobas por libra de semilla. Los grados de fertilizantes más utilizados en esta zona corresponden a 15-15-15 y 18-18-18. En menor proporción, los cultivadores utilizan 13-26-6, y son aún más pocos los cultivadores que utilizan mezclas de fertilizante químico con abonos orgánicos.

Problemas fitosanitarios

Pinzón et al. (2006) reportan al minador (*Liriomyza huidobrensis*) como una plaga en plantas de cebolla de bulbo. Saavedra (2010) menciona los trips (*Thrips tabaci*) como insectos plaga presentes en cultivos de cebolla y a alternaria (*Alternaria*

porri), como una enfermedad frecuente. Por su parte, Méndez (2007) menciona que la plaga más limitante en semillero es la “chupa”, que corresponde a la larva de la mosca de la raíz de la cebolla (*Delia antiqua*). Además, la enfermedad más referida por los agricultores del Alto Ricaurte en cultivos establecidos es el tizón (*Peronospora destructor*), seguido por la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*) y por último, la hinchazón de bulbo, cuyo agente causal es un nematodo (*Ditylenchus dipsaci*). Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo se presentan varios tipos de arvenses, como el alpiste (*Phalaris canariensis*), la malva (*Malva sylvestris*), la avena negra (*Avena fatua*), el carretón blanco (*Trifolium repens*), y en menor proporción, la cerraja (*Sonchus oleraceus*) y el cenizo (*Chenopodium album*). Según las encuestas, el control de arvenses se lleva a cabo en su totalidad a través de aspersiones con herbicidas. Existe una amplia gama de herbicidas químicos en el mercado y su aplicación se realiza entre los 10-30 DDT. Alrededor de los 70 DDT se hace una desyerba manual para, además, de airear el suelo (Pinzón et al., 2006).

Densidad de siembra

Cuando se utiliza una distancia de siembra de 10 cm entre plantas y una separación entre surcos, de 20 cm, se obtienen 500.000 plantas por hectárea. Bajas densidades de plantas producen bajos rendimientos, debido al escaso número de bulbos medianos y grandes al momento de la cosecha. Cuando se utilizan densidades mayores, se incrementa la cantidad de bulbos pequeños y deformes (Pinzón et al., 2006).

Riego

La disponibilidad de riego es un factor determinante para asumir el riesgo de sembrar cebolla de bulbo. El sistema de riego predominante en la región de Boyacá es por aspersion (Fig. 2.2), sin embargo, se han realizado cultivos pequeños en los que se utilizan sistemas de riego localizado a través de cintas de exudación (Fig. 2.3). No obstante, esta tecnología, por razones de costos, no ha sido ampliamente adoptada por los cultivadores y la mayoría de ellos hacen uso del riego por aspersion, como menciona Méndez (2007).



Figura 2.2. Sistema de riego por aspersión en cebolla de bulbo, en Sáchica, Boyacá.
Fuente: Fánor Casierra Posada.



Figura 2.3. Sistema de riego con cintas de exudación en cebolla de bulbo, en Sáchica, Boyacá.
Fuente: Fánor Casierra Posada.

Mano de obra

Más del 50% de la mano de obra que requiere este cultivo es contratada y desde la etapa de semillero hasta el momento de la cosecha y empaque del producto, se requieren entre 217-250 jornales por hectárea (Méndez, 2007), con una menor participación de la mano de obra familiar. Por su parte, *El Diario* (2011) informó que más de 2000 familias dependen económicamente del cultivo de cebolla de bulbo, el cual requiere para su manejo de alrededor de 140 jornales por hectárea, en un ciclo del cultivo de seis meses. Además, para producir una carga de 100 kg del producto, se deben invertir \$55.000 (valor de 2011 en pesos colombianos).

Cosecha

Se considera que el punto de cosecha de la cebolla de bulbo está dado cuando el falso tallo se debilita, se dobla fácilmente y la parte aérea se agobia por el peso de las hojas. Para favorecer la maduración de los bulbos, es aconsejable suspender el riego aproximadamente quince días antes de la fecha probable de cosecha. Se deben evitar las cosechas muy tempranas o muy tardías. Si los bulbos se cosechan prematuramente, demoran más durante el secado, son de menor peso y pueden resultar con el cuello abierto, arrugados y blandos, lo que, a la postre, afecta la sanidad, la calidad y el rendimiento final. Si se cosechan tarde (con un porcentaje de plantas curvadas cercano al 100%), el peso de los bulbos es mayor, pero pueden haber daños por golpes de sol, pérdida de catáfilas externas y una menor capacidad de conservación por ataque de microorganismos (Pinzón et al., 2006). Una práctica común en las regiones cebolleras de Boyacá es el “canequeo”, que consiste en pasar una rastra o caneca metálica sobre el cultivo, con el propósito de doblar el cuello de las plantas, y así inducir su maduración prematura, para alcanzar buenos precios en el mercado (Fig. 2.4). Sin embargo, esta práctica no es aconsejable, dado que afecta negativamente la calidad del producto y su duración y comportamiento en poscosecha.



Figura 2.4. Plantas de cebolla agobiadas mecánicamente mediante el pase de una rastra (canequeo), con el propósito de inducir su maduración temprana.

Fuente: Fánor Casierra Posada.

Mercados

El mercado de la cebolla de bulbo se enmarca en un escenario cuyas particularidades están determinadas por la producción estacional, lo cual induce a enormes cambios en los precios para el productor y el consumidor. Este aspecto le resta competitividad al sistema de producción, debido a que propicia la “incertidumbre” entre los cultivadores, lo que limita el desarrollo de este sistema de producción como un negocio, favorece el desplazamiento del consumo del producto por otros productos sustitutos y además estimula las importaciones. Además, la comercialización de las cebollas tiene lugar sin o con un mínimo de valor agregado (Pinzón et al., 2006). Por otra parte, *El Diario* (2011) informó que el sector productivo de cebolla de bulbo en Colombia carece de controles fitosanitarios en la frontera con Ecuador, donde, según los voceros, no hay ningún tipo de estrategias para saber si el producto puede entrar cumpliendo las normas

sanitarias exigidas, pues, además de los problemas con el precio, es posible que ingresen al país problemas fitosanitarios que no existen en los cultivos nacionales, lo cual podría acarrear consecuencias más graves que el mismo problema de los precios.

En el producto no se realiza el curado, ni se somete a procesos de selección y clasificación, se utilizan empaques inadecuados, lo cual genera pérdidas poscosecha, que algunos estudios estiman en el 25 % (Pinzón et al., 2006). No obstante, Melo et al. (2006) reportan que el porcentaje de pérdidas de cebolla comprada respecto al producto vendido, es superior en la región del alto Chicamocha, lo que presenta un promedio de 16,5%, frente a un 2,7% en el valle de Samacá. Las causas principales de pérdidas del producto se atribuyeron a pudriciones por fitopatógenos, a la humedad y al estado inadecuado de madurez del producto.

Por último, el consumidor colombiano de cebollas de bulbo blancas está acostumbrado a un producto no sometido a curado, el cual es más sensible a los deterioros y tiene una vida útil más corta, lo que reduce drásticamente sus posibilidades de permanencia en el mercado (Pinzón et al., 2006). En relación con las importaciones, Melo et al., (2006) anotan que se han aumentado en los últimos años, especialmente por incrementos de la demanda en Europa, Asia y Estados Unidos.

En términos de calidad comercial, en Boyacá, para la comercialización de cebolla de bulbo, se valora principalmente que sus bulbos se encuentren secos y limpios, con ausencia de enfermedades, malformaciones, insectos u otros daños. También se valora en gran medida la firmeza, el buen cierre del cuello, un número de catáfilas protectoras acorde con el material vegetal y la ausencia de síntomas de brotación o enraizamiento (Melo et al., 2006).

Además de las deficiencias de tipo tecnológico en el cultivo, se encuentran otras de igual o mayor relevancia, entre las cuales se destaca la deficiente comercialización. En Colombia se cuenta con centrales mayoristas de mercadeo creadas con la intención de servir de apoyo a los agricultores en la comercialización de sus productos, no obstante, estas centrales de abasto han caído en manos de unos

pocos comercializadores que pagan valores arbitrarios por las cosechas, lo que disminuye sensiblemente los ingresos de los productores (Pinzón, 2009).

Referencias

- Dixon, J., Gulliver, A. & Gibbon, D. (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza*. Roma y Washington, D.C.: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Banco Mundial. 58 p.
- El Diario. (2011). *La cebolla de bulbo, amenazada por las importaciones*. Recuperado de: <http://periodicoeldiario.com/index.php/categoria-departamento/501-la-cebolla-de-bulbo-amenazada-por-las-importaciones>
- Hart, R. (1980). A natural ecosystem analogous approach to the design of a successional crop system for tropical forest environments. *Biotropica*, 12, 73-82.
- Melo, L. I., Melo, M. M. & Rodríguez, L. F. (2006). Competitividad del sistema agroalimentario de la cebolla de bulbo con enfoque de cadena productiva en el distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 367-377.
- Méndez, M. J. & Viteri, S. E. (2007). Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 168-175.
- Méndez, M. J. (2007). Caracterización del sistema de producción de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en Cucaita, Boyacá. *Ciencia y Agricultura*, 5(2), 19-28.
- Municipio de Cucaita. (2006). *Esquema de ordenamiento territorial*. Recuperado de: http://www.cucaita-boyaca.gov.co/apc-aa-fil-es/33663138633565646536353338336430/esquema_de_ordenamiento_territorial.pdf

-
- Palacios, V. J. (2012). *Análisis socioeconómico de los sistemas de producción agraria en los resguardos indígenas Tamabioy y San Félix de Sibundoy, Putumayo*. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Desarrollo Empresarial Agropecuario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 126 p.
- Perfetti, J. J., Balcázar, A., Hernández, A. & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Bogotá: Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Incoder, Finagro, Banco Agrario. 248 p.
- Pinzón, H. (1996). Botánica, morfología y fisiología. En A. López (ed.). *El cultivo del ajo y las cebollas en Colombia*. (p. 9-16). Bogotá: Produmedios.
- Pinzón, H. (2009). Los cultivos de cebolla y ajo en Colombia: estado del arte y perspectivas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3(1), 45-55.
- Pinzón, H., Ospina, J. O. & Báez, A. (2006). *Producción y tecnologías de curado y almacenamiento de cebolla de bulbo*. Bogotá: Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola. 35 p.
- Saavedra, D. P. (2010). *Análisis de la dinámica de adopción de las prácticas convencionales de prevención y control fitosanitario del cultivo de cebolla cabezona (Allium cepa L.). Estudio de caso con pequeños agricultores del municipio de Tibasosa en el departamento de Boyacá*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Maestría en Desarrollo Rural. 125 p.
- Sarabia, J. (2013). Colombia. Políticas agropecuarias son ineficaces para los cebolleros. *Regatta, Portal regional para la transferencia de tecnología y la acción frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <http://www.cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/ver-todas-las-noticias/item/colombia-politicas-agropecuarias-son-ineficaces-para-los-cebolleros>

Vergel, L., Jaramillo, J. & Conde, P. (2003). *Producción de cebolla de bulbo ocañera. Manual técnico*. Bucaramanga, Colombia: La Bastilla.

Viteri, S. E. (2002). *Selección de cultivos de cobertura con potencial para el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Samacá, Boyacá*. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 150 p.

CAPÍTULO TRES

Análisis del crecimiento en plantas de cebolla de bulbo

Disponer de la información relacionada con el análisis del crecimiento en plantas permite inferir si la oferta ambiental bajo la cual se encuentra la planta o el cultivo es la más adecuada, así como también, identificar la necesidad de mejorar o cambiar los contenidos de nutrientes suministrados (Taiz & Zeiger, 2010). Este análisis en plantas es una aproximación cuantitativa para comprender el crecimiento del vegetal de manera individual o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. Esta técnica utiliza modelos matemáticos para cuantificar la relación existente entre el crecimiento de una planta, la producción de masa seca y la expansión del área foliar, entre otros factores; así como también, las condiciones ambientales como la luz, el agua o los nutrientes (Poorter, Anten & Marcelis, 2013). Las técnicas de análisis del crecimiento en plantas son una herramienta eficaz de comparación. El análisis de crecimiento tiene la gran ventaja de proveer medidas precisas del funcionamiento de la planta a través de intervalos de tiempo (Hunt, 1990).

Los rasgos funcionales de las plantas son las características (morfológicas, fisiológicas y fenológicas) que representan las estrategias ecológicas y determinan cómo las plantas responden a los factores ambientales, cómo afectan otros niveles tróficos e influyen sobre las propiedades del ecosistema. La variación en los rasgos funcionales de las plantas, y los síndromes de sus rasgos, han demostrado ser muy útiles para hacer frente a muchos cuestionamientos ecológicos importantes en un amplio rango de escalas, y han dado lugar a una demanda de formas estandarizadas para medir los rasgos de las plantas ecológicamente importantes. Esta línea de investigación tiene el potencial, tanto para construir un conjunto de predicción de las relaciones locales, regionales y globales entre las plantas y el medio ambiente, como para cuantificar una amplia gama de procesos naturales y

antrópicos, incluyendo los cambios en la biodiversidad, los impactos de especies invasoras, las alteraciones en los procesos biogeoquímicos y las interacciones vegetación-ambiente. La importancia de estos temas tiene la urgente necesidad de más y mejores datos, y de aumentar los protocolos estandarizados para cuantificar la variación de los rasgos de las diferentes especies, en particular, los rasgos con poder para predecir los procesos en las plantas y en el ecosistema, y los rasgos que se pueden medir con relativa facilidad (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

Muchos de los modelos de crecimiento tienen un papel central en el proceso de fotosíntesis, y, a menudo, asumen implícitamente ganancia de carbono por ser un paso limitante en la velocidad de acumulación de biomasa. Mediante el uso de las curvas de dosis-respuesta generalizadas para el crecimiento con respecto a la luz y la concentración de CO₂, los modelos pueden ser probados contra un punto de referencia para su desempeño general. Los modelos de crecimiento mecanicistas constituyen un elemento indispensable de tal enfoque y la voluntad, al final, de establecer el vínculo con los enfoques subcelulares que aún están en desarrollo. Una visión mejorada se ganará si los resultados del modelo para los diferentes procesos fisiológicos y variables morfológicas se compara con la correlación de redes de medida entre estos procesos y variables (Poorter et al., 2013).

El análisis de crecimiento es ahora un instrumento ampliamente utilizado en áreas de la agronomía, como el fitomejoramiento, la fisiología vegetal y la ecología de las plantas (Poorter, Bühler, Van Dusschoten, Climent & Postma, 2012). Se considera que el análisis de crecimiento representa el primer paso en el análisis de la productividad primaria, y constituye un enlace entre el registro de la producción vegetal y su investigación por métodos fisiológicos; por tanto, se ubica dentro del área de los estudios ecofisiológicos. Su ventaja reside en la facilidad para el registro de los datos para el cálculo de los índices, los cuales podrían ser, el peso seco de plantas completas o de sus partes y las dimensiones de los órganos que constituyen el aparato asimilatorio (Marín, 1989).

En la actualidad, se dispone de técnicas utilizadas en la medición del crecimiento de plantas, con las cuales se puede obtener información de la variación específica

del tamaño de raíz, tallo, hoja(s), fruto(s) y el vegetal completo (Quintero & Correa, 2011). Por su parte, Rodríguez y Leihner (2006) reportan dos metodologías básicas para realizar el análisis de crecimiento en plantas, el análisis clásico y el análisis funcional. El primero se basa en practicar pocos muestreos a lo largo del ciclo de cultivo, y en cada uno de ellos se deben tomar muchas repeticiones. Este procedimiento es adecuado cuando el propósito de la investigación es la comparación del efecto de tratamientos que inciden sobre el crecimiento. La segunda metodología hace uso de pocas repeticiones pero muchos momentos de muestreo. Se utiliza para simular el crecimiento mediante el uso de funciones matemáticas que describan adecuadamente el desarrollo vegetal. A diferencia del análisis clásico de crecimiento, el análisis funcional utiliza la totalidad de la información registrada para definir cada instante de la curva que describe el crecimiento. En el análisis funcional se hace necesario tener un gran número de muestreos. En el caso de que los escenarios agrícolas no lo permitan, el análisis funcional no se puede efectuar (Venus & Causton, 1979). Los parámetros que definen las funciones matemáticas relacionadas con el análisis funcional se determinan mediante un procedimiento estadístico llamado análisis de regresión no-lineal (Rodríguez & Leihner, 2006).

Morfología de la planta de cebolla de bulbo

La planta de cebolla de bulbo presenta una raíz poco profunda. Esta planta, a pesar de ser bianual, se cultiva como anual (semestral en condiciones tropicales) (Philrice, 2010). El tallo de la planta de cebolla es un disco basal localizado bajo la superficie del suelo. En la parte superior y central de este disco se encuentra el meristemo apical, donde se inician las hojas en forma opuesta y alterna, de este modo, las hojas emergen en dos filas opuestas a 180° la una de la otra. Las hojas tienen bien diferenciadas la vaina y la lámina foliar. Las vainas de las hojas rodean completamente el punto de crecimiento para formar un tubo que se proyecta desde el tallo y encierra en su interior las hojas más jóvenes. Toda esta estructura se denomina 'falso tallo'. En la unión de la vaina y la lámina de la hoja hay una abertura por la cual sale la lámina de la siguiente hoja. La lámina foliar es un tubo hueco cerrado en la punta, ligeramente achatado en su cara superior (Fig 3.1) (Dogliotti, Colnago, Galván & Aldabe, 2011).



Figura 3.1. Morfología de la base de las hojas y del cuello en plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). Detalle de la base superpuesta en las hojas.

Fuente: Fánor Casierra Posada

La raíz embrional muere rápidamente y el sistema radical emerge mediante raíces que brotan del tallo de manera continua y no se bifurcan. Las raíces más jóvenes aparecen en la parte externa y superior del tallo verdadero. Aproximadamente el 90% del sistema radical en las plantas de cebolla se agrupa en los primeros 20 cm de suelo (De Mason, 1990). La aparición de hojas se detiene cuando la planta comienza a formar el bulbo. La base de cada hoja se convierte en una catáfila, y el conjunto de estas constituye el bulbo de la cebolla, por lo que el tamaño final del bulbo depende, en parte, del número de hojas presentes al momento de la iniciación del desarrollo del bulbo. La base de cada hoja comienza a funcionar como un órgano de almacenamiento del bulbo al momento del inicio de la bulbificación, por lo que el área foliar de la planta influye también sobre el tamaño del bulbo. Así, mientras más hojas estén presentes y cuanto mayor sea el tamaño de la planta en el momento del inicio de la formación del bulbo, mayor será el tamaño de los bulbos y, por tanto, mayor será el rendimiento del cultivo (Brewster, 2008).

El bulbo es un órgano de reserva formado por las vainas de las hojas más jóvenes que se hinchan al aumentar el tamaño de sus células por la acumulación de carbohidratos de reserva (especialmente fructanos). Cuando comienza la acumulación de reservas en las vainas de las hojas jóvenes, las láminas dejan de crecer y, de esta manera, las últimas hojas no alcanzan a formar su lámina. Cuando el bulbo comienza a madurar, las vainas de las 3-4 hojas más adultas se deshidratan y forman una cubierta protectora que se cierra en la parte superior del bulbo y limitan su deshidratación (Dogliotti et al., 2011).

Variables relacionadas con la acumulación de masa seca

El peso seco de las plantas evaluadas periódicamente se incrementó a partir de los 80 DDS (30 DDT), hasta 150 DDS, momento en el que las plantas, como consecuencia de la maduración, perdieron área foliar. En ese tiempo, las plantas se agobian naturalmente y como consecuencia se pierden algunas de las hojas más adultas. Entre 110 y 150 DDS sucede la mayor acumulación de masa seca (Fig. 3.2). Este periodo de crecimiento acelerado en las plantas coincide con un descenso en los contenidos de la mayoría de los nutrientes analizados, posiblemente por dilución de cada uno de ellos en la cantidad de masa seca acumulada por las plantas. Esta dinámica del crecimiento está en concordancia con las curvas de crecimiento en masa seca reportada para cebolla de bulbo por Castro, Cely y Vásquez (2009). El inicio del incremento en la acumulación de masa seca en las plantas de cebolla se hace más evidente a partir de 95 DDS, puesto que se realizó la segunda fertilización con N, P y K, a los 88 DDS.

Tomando en consideración la fase vegetativa del ciclo del cultivo de cebolla, es decir, la fase de producción de bulbos, se pueden diferenciar dos etapas bien definidas desde la perspectiva del destino de los asimilados para el crecimiento de los diferentes órganos. La primera etapa va desde la emergencia hasta el inicio de la bulbificación, y la segunda se presenta desde el inicio de la formación del bulbo hasta su maduración o cosecha. En la primera fase, la planta brinda los fotoasimilados a disposición, para el crecimiento de las raíces y del área foliar. En esta etapa se observa un incremento en el número de hojas y en el área foliar, de este modo, cada nueva hoja alcanza un tamaño mayor que la hoja que le precedió. El principal vertedero de la planta son las láminas foliares jóvenes,

seguido por las vainas y, por último, el sistema radical. En esta etapa, las vainas se mantienen finas y se van acumulando a medida que aparecen hojas nuevas (Dogliotti et al., 2011).

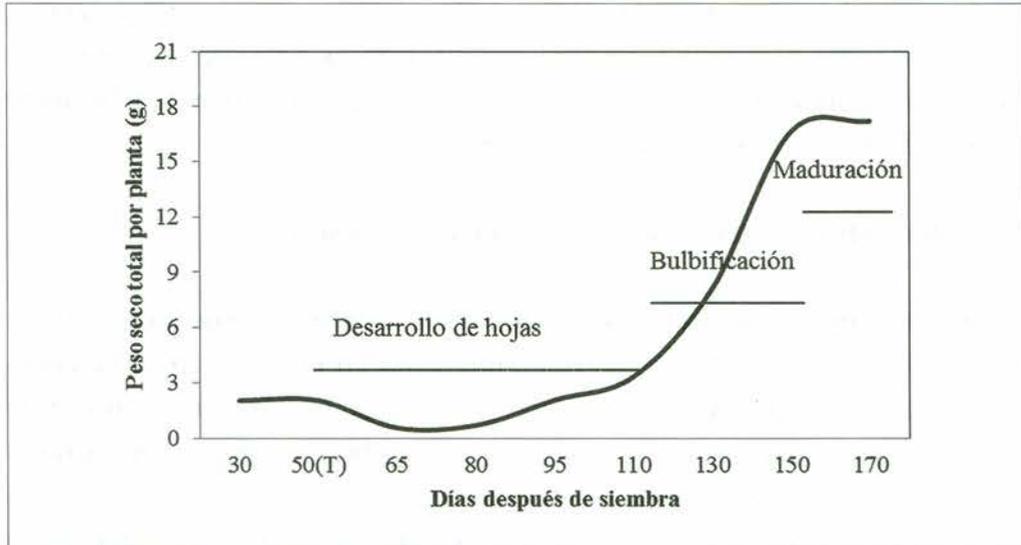


Figura 3.2. Peso seco total por planta registrado en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Cuando la planta, acorde con la oferta ambiental, recibe condiciones adecuadas para iniciar la formación del bulbo, la orientación de los asimilados disponibles para el crecimiento cambia de manera drástica. En esta segunda etapa cesa la aparición de hojas nuevas. Las láminas de las hojas recientemente emergidas culminan su crecimiento, pero no alcanzan un tamaño superior a las hojas que las precedieron. Las hojas que ya habían sido formadas y en las que aún no había emergido la lámina foliar, quedan sin formarlas. También se detiene la aparición y elongación de nuevos primordios radicales. Una vez iniciada la formación del bulbo, la gran mayoría de los fotoasimilados disponibles para el crecimiento de las plantas, se destina a la elongación celular y a la acumulación de reservas en la base (parte inferior de las vainas) de las 4-6 hojas más jóvenes de la planta, con el propósito de formar el bulbo. Antes del inicio de la bulbificación, cerca del 75% del incremento en masa fresca de la planta de una observación a la siguiente, está compuesta por el peso de las hojas. Posteriormente, cerca de la totalidad del crecimiento se debe al aumento de peso del bulbo (Dogliotti et al., 2011).

A partir del momento de trasplante, se registró un crecimiento en bulbos y raíces, hasta el momento de la cosecha. Sin embargo, desde 15 DDS se observó una disminución en el crecimiento de los bulbos y una reducción en la cantidad de masa seca acumulada en las hojas, como consecuencia de la maduración de las plantas. En los bulbos, la velocidad de la acumulación de masa seca se incrementa a partir de 110 DDS, lo cual coincide con un periodo posterior a la segunda aplicación de fertilizantes al suelo, realizada a los 88 DDS (Fig. 3.3).

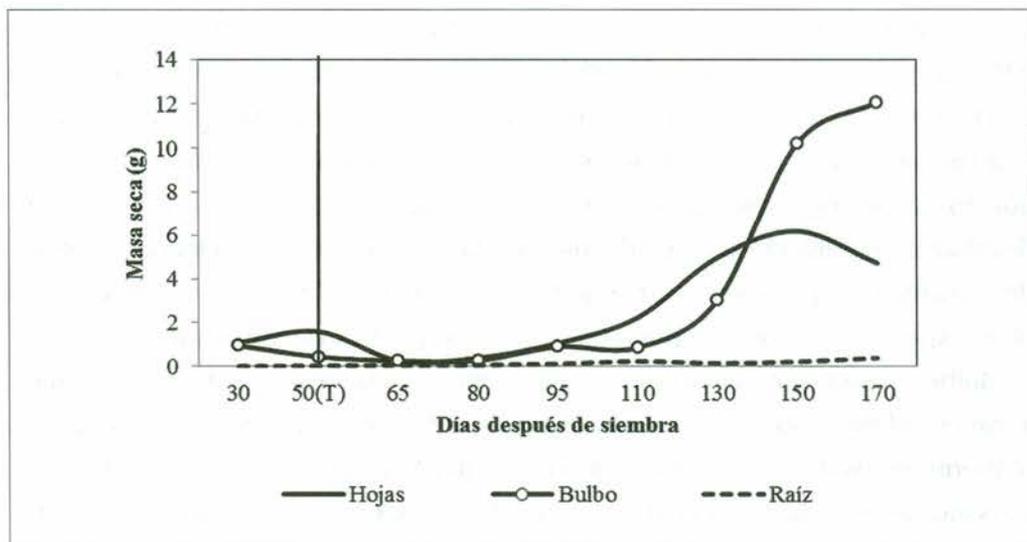


Figura 3.3. Masa seca total por planta registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

En el desarrollo de la actividad agrícola, se tiene gran interés en que una máxima cantidad de fotoasimilados se acumule en los órganos por cosechar. Sin embargo, existen límites a la porción de asimilados que puede ser desviada y acumulada en ellos, ya que las plantas necesitan dedicar una cantidad adecuada para los demás órganos, con el propósito de conservar la capacidad de producción. El equilibrio correcto entre la oferta y la demanda de asimilados de una planta tiene gran relevancia para optimizar la producción y la calidad, y se puede obtener a través de una adecuada relación fuente/vertedero (Peil & Gálvez, 2005). Conjuntamente, cuando esta relación es desfavorable, con frecuencia, se presentan alteraciones en el desarrollo de los órganos vertedero. La inadecuada relación fuente/vertedero puede deberse a una gran demanda de asimilados de los órganos por cosechar, por un exceso de crecimiento en ellos, o a una oferta

ambiental limitante en cuanto a radiación, lo que tendría como consecuencia la reducción de la fotosíntesis y, por lo tanto, de la producción de fotoasimilados (Challa, Heuvelink & Van Meeteren, 1995).

El bulbo en plantas de cebolla, es un órgano del que la planta se sirve para tolerar condiciones adversas. La falta de N o el déficit hídrico inducen el cese de la expansión de las hojas y si el fotoperiodo se encuentra en valores cercanos al crítico para el híbrido, estas condiciones pueden inducir la entrada temprana en la etapa de bulbificación, lo que favorece la migración de fotoasimilados hacia las vainas, por disminución del poder vertedero de las láminas foliares en crecimiento. Otra muestra de esta adaptación de las plantas de cebolla de bulbo a la tolerancia a condiciones de estrés, es la sensibilidad a la calidad de la luz, puesto que se ha evidenciado que cuando el valor de la relación rojo/rojo lejano disminuye, se adelanta la etapa de inicio de la bulbificación. Esta es una estrategia de la planta para percibir la cercanía de plantas vecinas de su misma especie o de otras especies. Debido a la poca habilidad competitiva de las plantas de cebolla de bulbo, su táctica para contrarrestar la competencia, es la tolerancia, expresada a través del proceso de formación del bulbo. Por tanto, esta disminución en los requerimientos de FPC (fotoperiodo crítico) frente a cambios en la calidad de luz y los indicadores de cercanía de otras plantas competidoras, son las herramientas que utiliza la planta de cebolla para tolerar o evitar la competencia mediante una bulbificación prematura (Dogliotti et al., 2011).

El patrón de asignación de masa seca puede modificarse durante el ciclo de un cultivo, debido a cambios en el poder vertedero de un órgano en particular, y a alteraciones en el número de vertederos que vayan apareciendo en la planta (Marcelis, 1994). Igualmente, el crecimiento potencial de un órgano vertedero podría definirse durante la etapa de división celular, en la fase inicial de desarrollo de este órgano (Patrick, 1988). La oferta ambiental puede ser determinante en la distribución a corto plazo de los fotoasimilados, como resultado de la respuesta del poder vertedero de los órganos individuales a los cambios en las condiciones externas, y, también, a largo plazo, a través del efecto que ejercen sobre el número de órganos vertedero que crecen en el vegetal (Marcelis, 1993a, 1993b). La relación entre el peso de tallos y de hojas, en el caso de las plantas hortícolas, tiene una gran importancia en la etapa de plantas jóvenes, en las cuales, la

relación tallo/hoja, generalmente, se incrementa con el incremento de la edad y tamaño de la planta (Nilwik, 1981). No obstante, en plantas adultas, la asignación de masa seca a tallos y hojas tiende a ser constante e independiente de la edad y tamaño de la planta (Schapendonk & Brouwer, 1984).

Purseglove (1992) encontró que las plantas de cebolla producen aproximadamente una hoja nueva por semana. Sin embargo, este autor no menciona la época en que se genera el número máximo de hojas. Por otro lado, Rey, Stahl, Antonin, y Newry (1974) reportaron que en el inicio de la formación de bulbos, la segunda y tercera hojas se secan mientras aparecen las hojas 8 a 13, y es en esta etapa cuando la planta alcanza su máxima altura. Al parecer, a esta edad, la planta puede tener de 10 a 12 hojas, momento en el que se registra la altura máxima de la planta. Heath y Holdsworth (1943) encontraron que el rendimiento del bulbo aumenta en relación con el incremento en la cantidad de material vegetativo producido antes de la formación de bulbos. Del mismo modo, Adjei-Twum (1980) observó una correlación positiva entre el número de hojas formadas antes de la formación de bulbos y el rendimiento del bulbo. También Mettananda y Fordham (1999) indicaron que el tamaño de la plántula al momento del trasplante, en términos de número de hojas, área foliar y peso total, sigue afectando el tamaño de la planta adulta hasta que alcanza su madurez.

Islam, Alam y Islam (2007), en las condiciones de Bangladesh, encontraron que el rendimiento del bulbo presenta una correlación positiva, estadísticamente significativa, con la altura de la planta al momento de la cosecha, el número de hojas por planta, el número de raíces y su longitud, diámetro, peso fresco y longitud de bulbo, pero no se presentó correlación con el porcentaje de contenido de materia seca por planta.

El rendimiento en materia seca de un cultivo, cuando las arvenses, las plagas, las enfermedades y las condiciones del suelo no son factores limitantes, y cuando el agua y los nutrientes están disponibles de manera suficiente, es el producto de la radiación absorbida por el dosel de las plantas, la eficiencia en la conversión de la radiación absorbida en masa seca, y la distribución de la materia seca entre los órganos por cosechar y las demás partes de la planta (Charles-Edwards, 1982).

En cebolla, el cese de la aparición de nuevas hojas se produce con el inicio de la formación de bulbos. Este último se considera que ha tenido lugar cuando la relación de la formación de bulbos (es decir, la relación entre el diámetro máximo del bulbo y el diámetro mínimo cuello) presenta un valor superior a 2,0 (Brewster, 1982). En un cultivo de cebolla desarrollado en el Reino Unido, el inicio de la formación de bulbos se produjo a los 63 días después de emergencia (es decir, cuando se había alcanzado 513 grados día o 434 grados día efectivos), en el comienzo del crecimiento lineal. Después de esta etapa de desarrollo, las hojas continuaron su expansión por un tiempo, pero luego empezaron a morir y, como consecuencia, tuvo lugar una disminución progresiva del índice de área foliar hasta alcanzar un valor final de 0,9 aproximadamente (Tei, Scaife & Aikman, 1996).

Tei, Scaife y Aikman (1996) encontraron que en el crecimiento temprano de las plantas de cebolla, la fracción de materia seca asignada a las hojas fue alrededor del 73% del peso seco total de la planta. En el inicio de la formación de bulbos (63 DDE), las plantas asignan alrededor del 53% de la masa seca a las hojas y a los 85 DDE, la asignación de materia seca se dedica solo a los bulbos.

Entre 80-95 DDS, la asignación de masa seca a hojas y bulbos es casi equivalente; sin embargo, entre 110-130 DDS, la cantidad de materia seca en las hojas supera el porcentaje acumulado en los bulbos, lo cual coincide con un periodo de crecimiento acelerado del área foliar. Además, se debe recordar que a los 88 DDS se realizó una segunda fertilización, la cual tuvo un efecto sobre la acumulación y distribución de masa seca en los diferentes órganos. Por último, entre 150-170 DDS, el porcentaje de masa seca registrada en los bulbos supera el encontrado en las hojas, dado que en este periodo sucede la maduración de la planta, la cual se manifiesta en el agobio de la parte aérea por debilitamiento del cuello (Fig. 3.4). De esta manera, la pérdida de masa seca por pudriciones de las hojas que están en contacto con el suelo, se hace evidente.

El rendimiento de un cultivo está determinado por su capacidad de acumular biomasa en los órganos por cosechar. Un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la asignación de masa seca a los diferentes órganos de la planta tiene un

papel fundamental en el rendimiento de las plantas cultivadas. Los asimilados, producidos a través de la fotosíntesis en los órganos fuente, pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre los diferentes órganos vertedero del vegetal. Para lograr un rápido crecimiento inicial de las plantas jóvenes, es importante un incremento importante del área foliar en esta fase, debido a que gran parte de la radiación solar incidente no es interceptada. Por tanto, en esta fase, una gran parte de los asimilados debe ser destinada a la formación de las hojas (Peil & Gálvez, 2005).

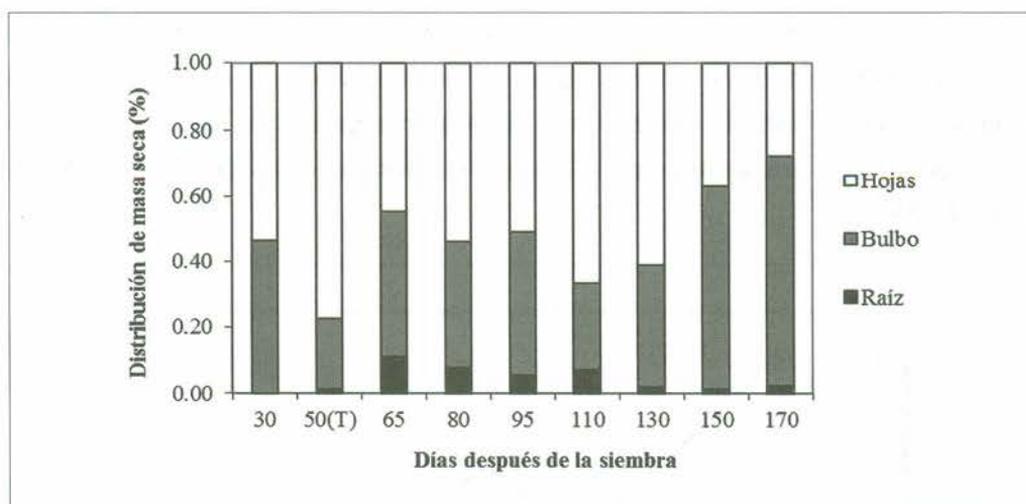


Figura 3.4. Asignación de masa seca a los diferentes órganos en plantas de cebolla (*Allium cepa* L.) hib. 'Yellow Granex' cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Se registró un descenso en los valores de esta relación desde el momento del trasplante hasta el de la cosecha, con un leve incremento entre 95-110 DDS, el cual fue resultado de la segunda fertilización al suelo, realizada a los 88 DDS (Fig. 3.5). El descenso en los valores durante casi todo el ciclo de crecimiento de las plantas de cebolla, se debe al incremento en la acumulación de masa seca por parte de hojas y bulbo, cuyos valores superan la cantidad de masa seca asignada a las raíces, se debe anotar que debido a que el trabajo se realizó en condiciones de campo, a pesar de los esfuerzos para extraer del suelo la mayoría de las raíces, algunas de ellas permanecían en el sustrato.

La distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta, es la consecuencia de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte

que determinan el flujo de fotoasimilados a través de un sistema fuente/vertedero. Las actividades implicadas en este proceso no son estáticas. Estas pueden cambiar a diario y a través de todo el ciclo de la planta (Patrick, 1988). Los asimilados, producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente, pueden almacenarse o trasladarse, vía floema, a los diferentes órganos vertedero. En gran parte de las especies cultivadas, la sacarosa es el principal azúcar trasladado (Daie, 1985). Igualmente, los aminoácidos y ácidos orgánicos pueden desempeñar una función importante en la traslocación del carbono en el floema de los órganos vertedero (Richardson, Baker & Ho, 1984). La velocidad de traslocación de los fotoasimilados vía floema, es definida frecuentemente por gradientes de contenido de solutos o de turgencia potencial entre la fuente y los vertederos ubicados al final del floema (Patrick, 1988). La utilización y compartimentación de los asimilados en el vertedero son importantes para la manutención de estos gradientes (Peil & Gálvez, 2005).

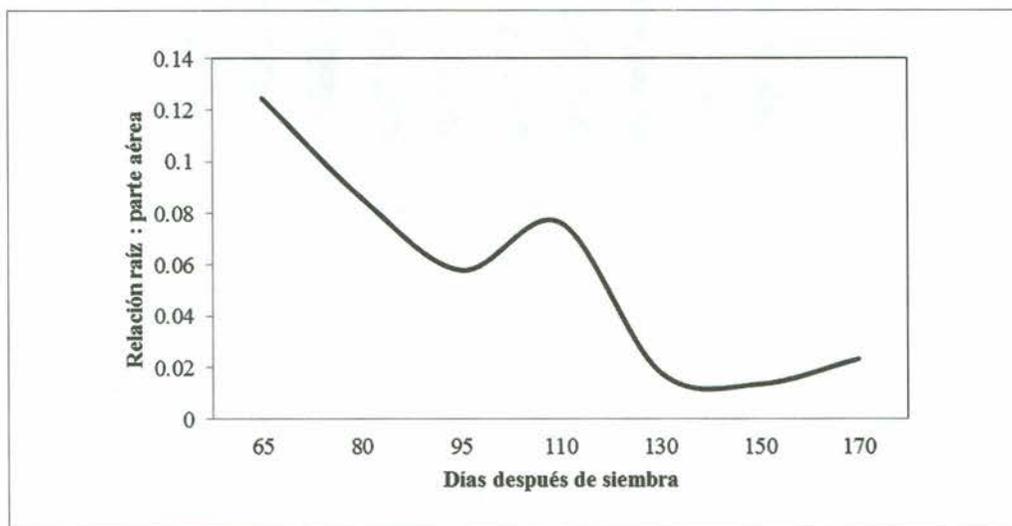


Figura 3.5. Relación alométrica raíz: parte aérea registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

La distribución de masa seca entre las raíces y la parte aérea de las plantas puede definirse a través de un equilibrio funcional entre la actividad de las raíces (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de la parte aérea (fotosíntesis). De esta manera, se debe entender que la relación entre la masa de las raíces y la masa de los órganos de la parte aérea es proporcional a la relación entre la actividad específica de la parte aérea y la de las raíces. Se ha encontrado también

que los factores que intensifican la actividad específica del sistema radical, tales como el suministro adecuado de agua o de macronutrientes (especialmente N), el aumento en el potencial hídrico y una temperatura óptima para el funcionamiento de las raíces, disminuyen la distribución proporcional de masa seca hacia las raíces (Liu & Stützel, 2004). Como compensación, los factores que estimulan la actividad específica de la parte aérea, como el aumento en la concentración de CO_2 , en la intensidad luminosa o la duración del fotoperiodo, incrementan la distribución de materia seca a las raíces (Marcelis & De Koning, 1995).

La cantidad de masa seca asignada a la materia seca cosechable, que en cebolla corresponde al bulbo, presentó un descenso desde el momento del trasplante hasta el intervalo 110-130 DDS, puesto que las plantas debían desarrollar el área foliar para su crecimiento. A partir de este intervalo, se presenta el proceso de bulbificación, en el cual se asigna una gran cantidad de masa seca para el desarrollo del bulbo, como se observó en las figuras 3.1 y 3.2. Posteriormente, se presentó un incremento en la masa seca cosechable (bulbo), hasta el momento de la cosecha (Fig. 3.6), como consecuencia de la segunda aplicación de fertilizantes a los 88 DDS.

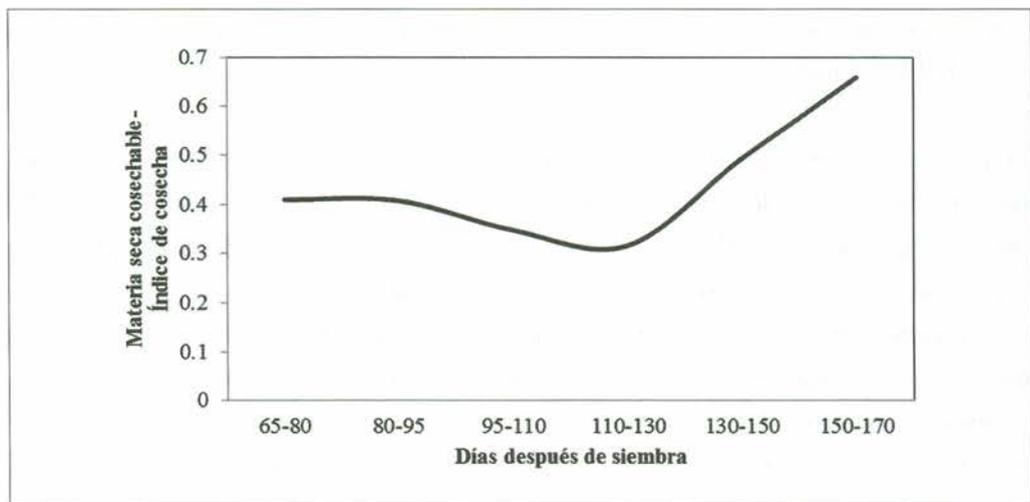


Figura 3.6. Masa seca cosechable o índice de cosecha registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El objetivo en el cultivo de cebollas es lograr una alta producción con un producto cosechado de alta calidad. Esto se logra mediante la participación de muchos

procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plantas. Principios ya establecidos, determinan la producción en muchas plantas cultivadas y algunos de ellos se han investigado en el género *Allium*. En estas plantas, la producción está definida por factores como la calidad de la luz absorbida por las hojas mientras se está produciendo la materia seca cosechable; la eficiencia con la cual la luz absorbida es convertida, mediante la fotosíntesis, en sacarosa; el coeficiente de conversión entre la sacarosa fotosintetizada y los constituyentes bioquímicos de la materia cosechada; la proporción de productos fotosintéticos a la fracción cosechable, y, por último, las pérdidas debidas a la respiración y las reducciones, luego de la ocurrencia de los procesos fotosintéticos y bioquímicos (Brewster, 2008).

Una gran cantidad de asignación de masa seca a la materia seca cosechable en plantas de cebolla, tiene lugar hacia los bulbos. Cuando el 80 % de las plantas presenta debilitamiento del cuello, el bulbo representa alrededor del 80% del peso de la parte aérea. El peso del bulbo continuará incrementándose después de este estado, al igual que la proporción de peso de los bulbos en relación con la parte aérea. Se ha encontrado que dos semanas luego del debilitamiento del cuello de las plantas de cebolla, un promedio de 89% del peso seco de la parte aérea está compuesto por el peso del bulbo. En plantas de cebolla, el bulbo, por tanto, representa una alta proporción en el índice de cosecha o masa seca cosechable (Brewster, 2008).

En plantas de crecimiento determinado, como es el caso de la cebolla de bulbo, después de un periodo inicial de crecimiento, tiene lugar la iniciación del desarrollo de los órganos destinados a la cosecha y subsecuentemente la distribución de asimilados a estos órganos aumenta hasta que todos ellos sean recolectados en una sola pasada. En estos cultivos, excepto durante el periodo de crecimiento inicial, las prácticas culturales, la selección de cultivares y el control climático, cuando es posible, deben tener como propósito que la máxima proporción de asimilados sea destinada a los órganos que se cosecharán (Peil & Gálvez, 2005).

Variables relacionadas con el área foliar

El área foliar mostró un incremento en su valor desde el trasplante hasta 150 DDS, y posteriormente se observó un descenso (Fig. 3.7). Este descenso ocurrió en el

momento en que las plantas empezaban su maduración y, por tanto, algunas de las hojas más adultas se desprendían como consecuencia de su contacto con el suelo. La hoja es la superficie de intercambio entre la planta y el ambiente aéreo. También es el lugar donde se realiza la fotosíntesis. La dimensión de estos intercambios y la actividad fotosintética están relacionados de manera directa con el área foliar (Martín, Soto, Rivera & Rentería, 2006). El área foliar alcanzada por una planta durante el transcurso de su fenología, es un registro indispensable para la calibración, la adaptación y, en general, para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Se sabe que la dimensión del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la elaboración de tejidos y compuestos alimenticios (Warnock, Valenzuela, Trujillo, Madriz & Gutiérrez, 2006). Por estas razones, la cuantificación de este parámetro reviste gran importancia en cultivos de cebolla de bulbo, dada la morfología tubular de sus hojas y su orientación erecta.

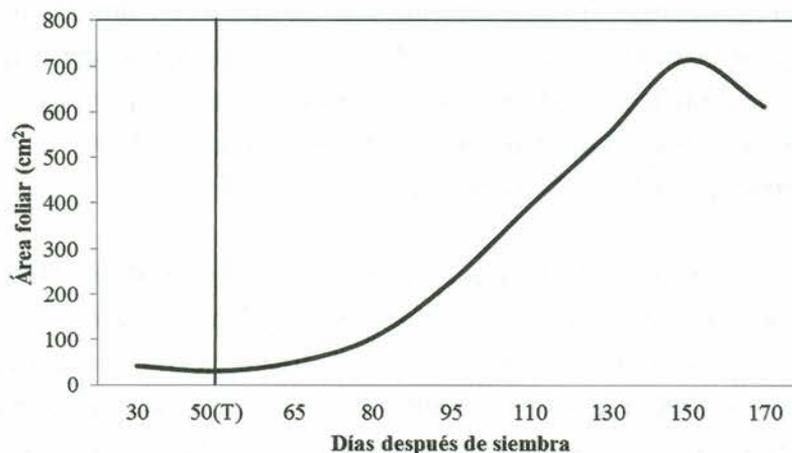


Figura 3.7. Área foliar por planta registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

La radiación incidente capturada por las plantas de cebolla de bulbo es dependiente principalmente de la cuota de la RFA y del área foliar que tenga el cultivo durante la bulbificación. La RFA incidente es un factor ambiental dependiente de la localidad en la que se desarrolla el cultivo y de la época del año en la que se inicie la formación del bulbo, que, a su vez, depende del

material vegetal que se esté cultivando. Por otro lado, el crecimiento del área foliar de las plantas de cebolla cesa al inicio de la bulbificación, momento en el que el cultivo alcanza su índice de área foliar (IAF) máximo. El IAF del cultivo se reduce progresivamente desde el inicio de la bulbificación hasta la maduración del bulbo. Se debe tomar en consideración que el valor del IAF al inicio de la bulbificación es una de las variables con mayor efecto sobre el rendimiento final del cultivo y es un factor altamente dependiente de la temperatura, el suministro de agua y de nutrientes en la etapa de desarrollo y crecimiento de las hojas, y fundamentalmente, depende también de la duración de este periodo (Dogliotti et al., 2011).

Inicialmente, las hojas recientemente desplegadas se comportan más como un vertedero, que atrae fotoasimilados procedentes de otras hojas, hasta que alcanzan alrededor del 30 % de su tamaño definitivo, momento en el cual la importación de asimilados disminuye gradualmente y la hoja pasa de importar a exportar carbono (Ho et al., 1984). Cuando la hoja ha alcanzado su máxima expansión y al tiempo se presenta la máxima actividad fotosintética, es fundamentalmente un órgano fuente, y el balance de carbono la convierte, ante todo, en órgano exportador. Finalmente, durante la fase de senescencia se produce una exportación intensiva de carbono de la hoja, acompañada por un descenso gradual de la actividad del aparato fotosintético (Dale & Milthorpe, 1983).

La relación de área foliar (RAF) mostró un descenso a partir de 80 DDS hasta el momento de la cosecha, con un leve incremento a los 110 DDS, el cual fue el resultado de la toma de nutrientes aplicados en la segunda fertilización de las plantas, a los 88 DDS (Fig. 3.8). Este índice sugiere que la cantidad de masa seca producida por la planta completa por unidad de área foliar, disminuyó a lo largo del ciclo de las plantas.

La RAF es el área de superficie fotosintética por unidad de peso seco de una planta. Es una medida de la eficiencia con la que una planta despliega sus recursos fotosintéticos. El valor de este índice se incrementa, por lo general, cuando las plantas están expuestas a una intensidad de luz baja (Allaby, 1998). La tasa de crecimiento relativo (TCR) es el producto de la tasa de asimilación neta (TAN) y la LAR, mientras que la TAN es en gran medida el resultado de la ganancia de carbono

mediante la fotosíntesis y de las pérdidas de carbono mediante la respiración, la exudación y la volatilización, expresadas por unidad de área. La RAF, por su parte, es el producto de otros componentes morfológicos que señalan la fracción del peso seco total de la planta que se aloja en las hojas (Poorter & Remkes, 1990). El valor de la LAR es un factor muy útil para relacionar la fotosíntesis con los fotosintatos utilizados en la respiración en el interior de una planta, por tanto, ofrece información acerca del balance de energía disponible de una planta para su metabolismo. Con base en estos argumentos y en la información presentada en las figuras 3.2 y 3.7, es posible inferir que el descenso en la RAF que tuvo lugar luego de 80 DDS, se debió al incremento en la acumulación de masa seca en las plantas, más que al incremento en el área foliar, dado que ambos parámetros presentaron una tendencia creciente.

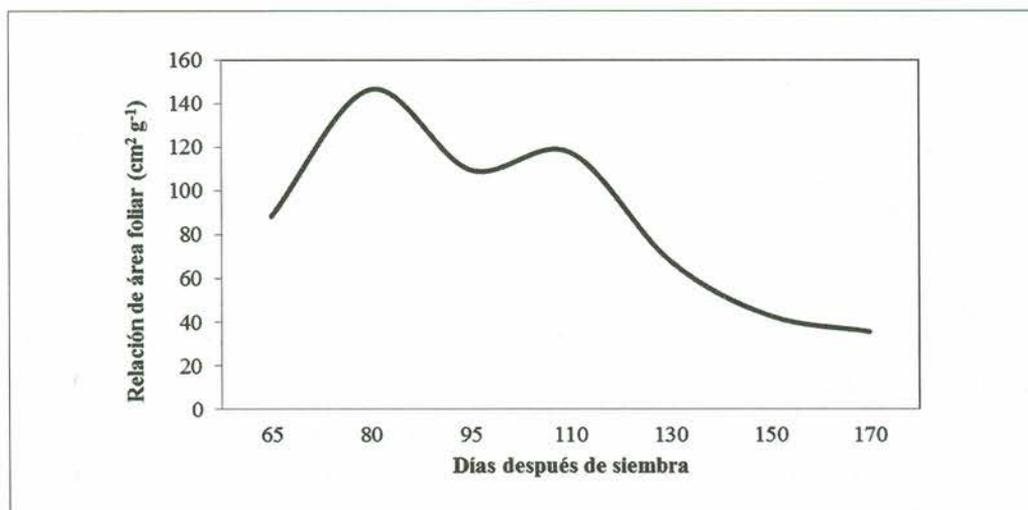


Figura 3.8. Relación de área foliar registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El valor del área foliar específica presentó un incremento hasta 130 DDS y luego descendió hasta el momento de la cosecha (Fig. 3.9). Este comportamiento de la curva coincidió con un descenso en los contenidos de todos los nutrientes evaluados en las hojas, con excepción del Zn y el S.

El área foliar específica (AFE) es el cociente entre el área media de las hojas y el peso de las hojas. Puesto en otros términos, es una medida del espesor de las hojas, con valores altos de esta relación en hojas delgadas con mucha área por

poca unidad de peso (Rodríguez & Leihner, 2006). Con esta variable se puede inferir parcialmente el comportamiento del uso de fotoasimilados en las hojas, si se están acumulando en ellas o si están siendo redistribuidos a los órganos vertedero.

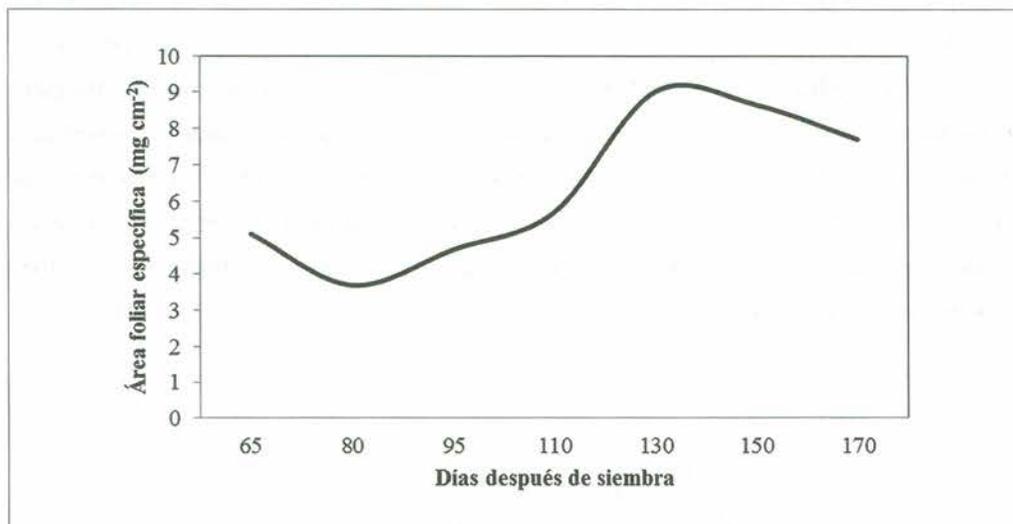


Figura 3.9. Área foliar específica registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El riego es un factor determinante en cultivos de cebolla de bulbo, puesto que Khan, Imran y Chattha (2005) encontraron, en las condiciones de Pakistán, que una frecuencia de riego de cinco días en los materiales 'Swat-1' y 'Phulkara', incrementa la altura de las plantas, el peso seco total por planta y el número de hojas por planta. El valor de esta última variable se redujo en la medida que se incrementaba el intervalo en que se aplicaba el riego.

La TAN mostró los valores máximos en los intervalos entre 80-95 y 130-150 DDS. El primer pico en la curva coincidió con la recuperación de las plantas luego del trasplante y el desarrollo del área foliar, mientras que el segundo pico se debió a la absorción de los nutrientes aplicados en la segunda fertilización (88 DDS). A partir del intervalo 130-150 DDS hasta la cosecha, el valor de la TAN disminuyó como consecuencia de la maduración de las plantas (Fig. 3.10).

El rendimiento del cultivo de cebolla depende de la tasa de crecimiento del bulbo durante el periodo de bulbificación y de la duración de la planta durante este

tiempo. Se observó que desde el momento en que se inicia la bulbificación, la mayoría de los fotoasimilados que se encontraban a disposición, se orientaron hacia el crecimiento del bulbo. De esta manera, la tasa de crecimiento del bulbo depende de la TAN, durante el lapso de formación del bulbo y del factor de conversión de azúcares simples en masa seca acumulada en el bulbo. La TAN depende, a su vez, de la cuantía de la radiación capturada por las láminas foliares y de la eficiencia con que esa luz se utiliza en la producción de fotoasimilados y finalmente para el crecimiento del bulbo. La eficiencia de uso de la luz depende del valor de la temperatura media del aire. La cebolla, por ser una planta del grupo C3, tiene un rango óptimo de temperatura para la fotosíntesis neta entre 19-22 °C. A valores de temperatura por fuera de este rango, la EUL (eficiencia en el uso de la luz) disminuye, puesto que, como sucede en todas las plantas cultivadas, la EUL disminuye de manera inversamente proporcional a la intensidad de radiación. Por otro lado, factores causantes de estrés vegetal como el déficit hídrico o el desbalance nutricional, también afectan negativamente la EUL (Dogliotti et al., 2011).

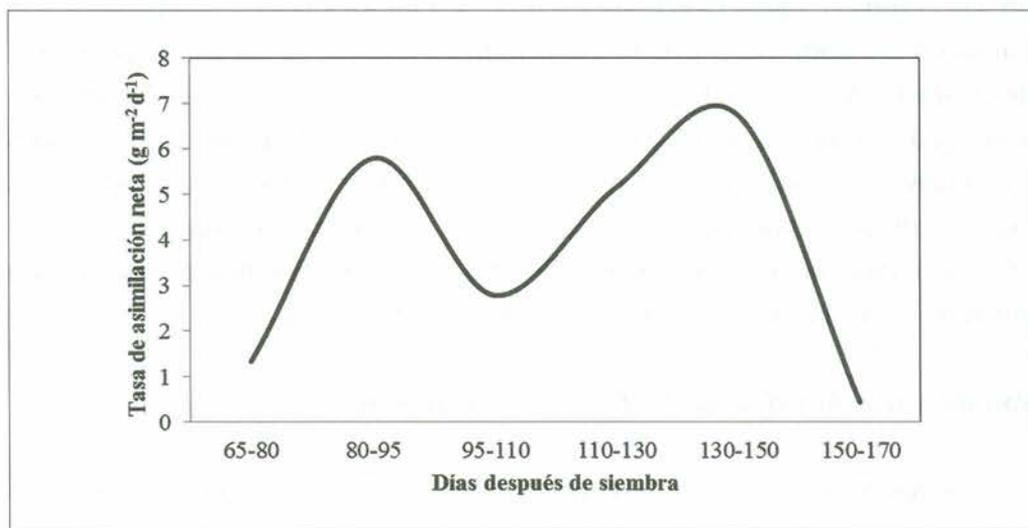


Figura 3.10. Tasa de asimilación neta (TAN) registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

En las condiciones de Nigeria, Ibrahim (2010) encontró que, a partir de la cuarta semana después del trasplante (SDT) y entre 5 a 8 SDT, la producción de hojas en cebolla aumentó de 6 a 11, durante un periodo cercano a las cinco semanas, lo que indica que la planta de cebolla produjo un promedio de una hoja por

semana. También se constató que en la mayoría de las plántulas trasplantadas, la cantidad máxima de hojas producidas fue de 12, lo que sucedió entre 9 y 14 SDT, mientras que la altura máxima de la planta (69 cm) tuvo lugar entre el 8 y el 11 SDT. Por su parte, Babatola y Lawal (2000) observaron que la altura de la planta varió de 24 a 49 cm entre las 4 y 12 SDT, mientras que el número de hojas varió de 3 a 9 en el mismo periodo. Del mismo modo, Umar et al. (2000) encontraron que la altura de la planta osciló entre 37 y 49 cm a los 40 a 60 DDT, y el número correspondiente de las hojas era 8,3 a 8,9 en ese periodo.

La medida en que el dosel absorbe la radiación disponible depende no solo del índice de área foliar, sino también de otras características tales como el ángulo de la hoja y la arquitectura de la parte aérea (Russell, Jarvis, & Monteith, 1989; Guiducci, Antognoni & Benincasa, 1992). La eficiencia en el uso de la radiación absorbida puede depender de la tasa fotosintética, de la intensidad de la fotorrespiración y de la respiración, o de alguna limitación en la demanda de los órganos vertedero. En otras palabras, la eficiencia de conversión es el resultado de una compleja interacción entre los procesos fotoquímicos y bioquímicos, y el transporte de asimilados. Una forma común de medirla es calcular la pendiente de la relación lineal entre la producción de materia seca acumulada y la radiación absorbida acumulada por el dosel del cultivo (Gosse et al., 1986). Las relaciones cuantitativas para la asignación de materia seca entre raíces, hojas y tallos y los órganos de almacenamiento, son en su mayoría empíricas (Marcelis, 1993c), pero un conocimiento aproximado de estas relaciones también es crucial para entender el comportamiento fisiológico de un cultivo.

Variables relacionadas con las tasas de crecimiento

Los valores registrados para la tasa de crecimiento absoluto (TCA) mostraron un aumento desde el trasplante hasta el intervalo 130-150 DDS, para luego descender hasta el momento de la cosecha (Fig. 3.11). Este comportamiento en los valores de la curva corresponde a un patrón normal encontrado en muchas plantas para este parámetro; sin embargo, en este caso, este incremento fue la consecuencia de la reacción de las plantas a la toma de fertilizantes aplicados a los 88 DDS.

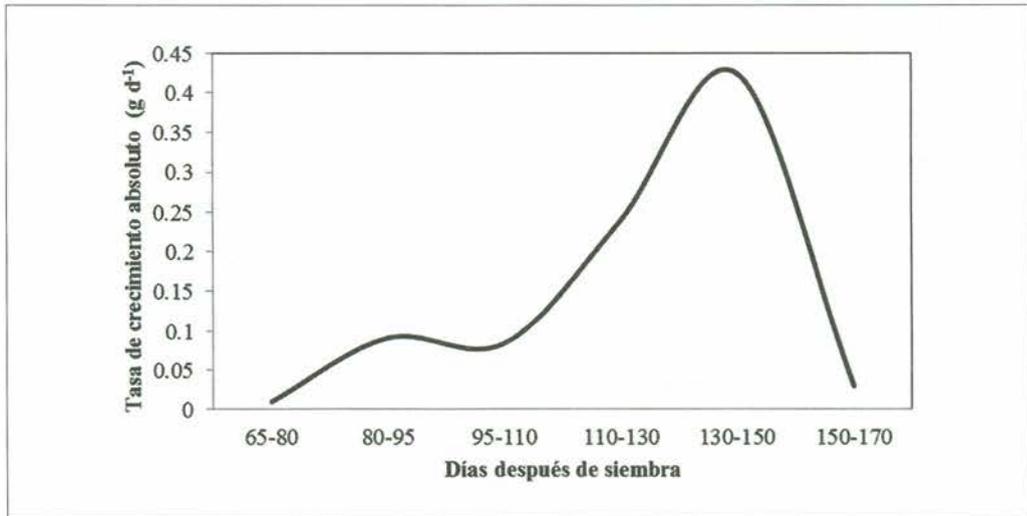


Figura 3.11. Tasa de crecimiento absoluto registrada (TCA) en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

La TCR presentó su mayor valor en el rango de 80-95 DDS y luego tuvo un segundo incremento a los 110-130 DDS (Fig. 3.12), con lo cual se puede asumir que el valor máximo de la TCR tiene lugar después de que las plantas han restablecido su sistema radical y han desarrollado el crecimiento de su área foliar, lo cual sucede entre 30-45 DDS. El segundo incremento en los valores de la curva durante el ciclo del cultivo sucede como consecuencia de la segunda fertilización al suelo. De esta manera es posible inferir que la segunda fertilización tuvo un efecto positivo en el restablecimiento del crecimiento en las plantas de cebolla de bulbo en desarrollo, pero el valor del incremento no alcanzó los valores que se registraron en los estados iniciales del crecimiento, después del trasplante. El concepto de TCR se define como el aumento en la cantidad de masa seca por unidad de biomasa y tiempo. Durante sus primeros estadios, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre las diferentes especies vegetales (Villar et al., 2004)

Las velocidades de los diferentes elementos de los tejidos se representan en relación con su distancia desde el ápice, para ofrecer un patrón espacial de las tasas de crecimiento. La tasa de crecimiento aumenta con la posición en la zona de crecimiento y, por otro lado, se registra un valor constante en la base de la zona de crecimiento. La tasa de crecimiento final es la pendiente constante final de la trayectoria de crecimiento. La TCR ofrece información sobre la localización

y la magnitud de la tasa de extensión y se puede usar para cuantificar los efectos en la variación del entorno sobre el patrón de crecimiento (Taiz & Zeiger, 2010). Luego de la emergencia, las plantas de cebolla presentan una baja TCR y su parte aérea formada por hojas cilíndricas orientadas de manera vertical, lo que las hace poco competitivas. Así que las plantas de cebolla de bulbo son superadas fácilmente por las arvenses. El sistema radical presenta baja densidad de raíces. Los estomas se cierran y la fotosíntesis se reduce con una disminución mínima del potencial hídrico de la hoja. Por otro lado, las plantas de cebolla parecen ser capaces de sobrevivir periodos largos de bajo suministro de agua y pueden llegar a bulbificar prematuramente en respuesta al estrés hídrico (Brewster, 2008).

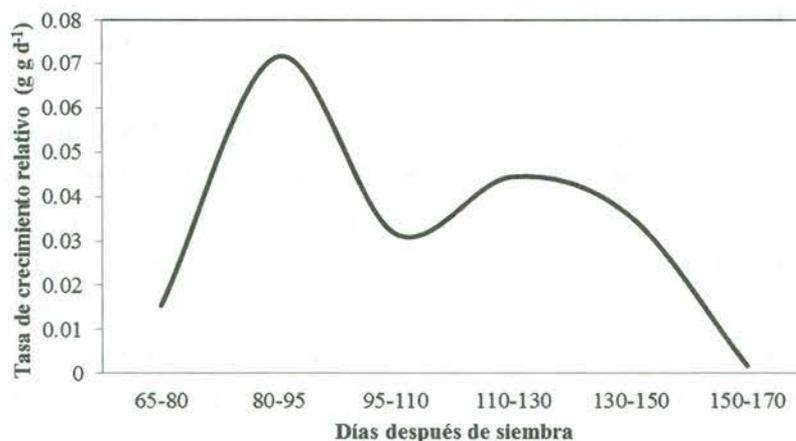


Figura 3.12. Tasa de crecimiento relativo (TCR) registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Se ha indicado que la distribución de masa seca entre los órganos vertedero es regulada inicialmente por el poder vertedero de estos órganos (Verkleij & Challa, 1988). Por su parte, Wolswinkel (1985) define el concepto *poder vertedero* como la capacidad competitiva de un órgano vertedero para importar los fotoasimilados. El autor propone la capacidad potencial de un vertedero para acumular los fotoasimilados, como un parámetro para cuantificar el poder vertedero del órgano. Esta capacidad potencial refleja la capacidad intrínseca del propio vertedero para atraer o recibir asimilados, y se convierte en un determinante crítico del crecimiento del órgano (Ho, 1988). Con más exactitud, el poder vertedero puede definirse como la capacidad potencial para atraer asimilados al

floema de la zona próxima al vertedero y, a partir de ahí, transportarlos hasta las células del órgano vertedero (Wolswinkel, 1985). Una estimación apropiada es considerar la ganancia neta de carbono por el órgano vertedero y la pérdida de carbono debido a su respiración (Ho, 1988). La aptitud potencial para acumular asimilados o la demanda potencial de estos en un órgano vertedero pueden cuantificarse mediante la tasa potencial de crecimiento del vertedero, es decir, mediante las tasas de crecimiento, cuando el abastecimiento de fotoasimilados no es un factor limitante (Ho, 1988). Bajo esta perspectiva, la distribución de materia seca a un órgano viene determinada por poder vertedero relativo al poder vertedero total del conjunto de órganos de la planta (Peil & Gálvez, 2005).

Las tasas de crecimiento de la planta y de los órganos vertedero se incrementan con la exposición, hasta cierto límite, a un aumento en la temperatura. Esto permite una reducción del periodo de crecimiento de los órganos vertedero y una cosecha más temprana (Marcelis, 1993a). El incremento de la temperatura incentiva la actividad metabólica de los órganos vertedero, con lo que se amplía el flujo de carbono y agua hacia estos (Pearce, Grange & Hardewick, 1993). De modo que el poder vertedero de cada órgano aumenta proporcionalmente con la elevación de la temperatura, con lo que crece la asignación de biomasa hacia ese órgano. No obstante, algunas hortalizas cultivadas durante un periodo prolongado en condiciones de alta temperatura, presentan una disminución en la cantidad de órganos vertedero; sin embargo, la acumulación de masa seca en ellos, a largo plazo, no se ve afectada de forma significativa (Marcelis, 1993a).

Poorter, Lambers y Evans (2014) reportan que hay diferentes maneras de expresar los datos biológicos, en relación con la fotosíntesis. El uso del área foliar ha sido un método muy útil. Sin embargo, diferentes preguntas requieren diferentes enfoques, y como tal, no existe una única *mejor* forma de expresión de la información en cada situación. A menudo, una mejor comprensión del sistema se puede obtener mediante el uso de diversas formas de normalización. Los modelos biológicos son más importantes que las consideraciones estadísticas. Los modelos que hacen relación a la fijación de carbono, al supuesto del contenido de carbono en la planta completa, a la tasa de fotosíntesis por unidad de masa de las hojas o a la masa seca total, son factores explicativos importantes. De hecho, la expresión de la fotosíntesis por unidad de masa no es un elemento estadístico. Es importante

destacar, que a menudo la variación en el área foliar efectiva (AFE) representa una gran parte de la variación en las tasas de crecimiento, y en las correlaciones de masa en diferentes especies. Además, se hace necesaria una visión clara de la interdependencia de la multitud de rasgos fisiológicos y morfológicos que las plantas optimizan para tener éxito en un entorno determinado.

Referencias

- Adjei-Twum, D. C. (1980). The influence of bulb size and bulb cutting on the growth and yield of shallot (*Allium cepa* var. *Aggregatum* G. Don) in Ghana. *Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 139-143.
- Allaby, M. (1998). *Leaf-area ratio. A Dictionary of Plant Sciences*. Retrieved from: <http://www.encyclopedia.com/doc/1O7-leafarearatio.html>
- Babatola, L. A. & Lawal, O. L. (2000). Comparative yield and storability of two tropical onion (*Allium cepa* L.) cultivars under different storage structures. In *Proceedings of 18th Horticultural Society of Nigeria Conference*, (pp. 2), IAR/ABU, Zaria, May 28th- 1st June.
- Brewster, J. L. (1982). Growth, dry matter partitioning and radiation interception in an overwintered bulb onion (*Allium cepa* L.) crop. *Annals of Botany* 49, 609-617.
- Brewster, J. L. (2008). *Onions and other vegetable alliums*. UK: CABI. 454 p.
- Castro, H. E., Cely, G. E. & Vásquez, S. N. (2009). *Criterios técnicos para un manejo eficiente del riego en cebolla de bulbo*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colección Investigación UPTC No. 23. 187 p.
- Challa, H., Heuvelink, E. & Van Meeteren, U. (1995). Crop growth and development. Long-term responses. Crop growth. In J. C. Bakker, G. P. A. Bot, H. Challa & van de Braak, N. J. (Eds.). *Greenhouse climate control: An integrated approach*. (p. 62-84). Wageningen: Wageningen Pers.

-
- Charles-Edwards, D.A. (1982). *Physiological determinants of crop growth*. London: Academic Press. 161 p.
- Daie, J. (1985). Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. *Horticultural Review* 7, 69-108.
- Dale, J. E. & Milthorpe, F. L. (1983). General features of the production and growth of leaves. In J. E. Dale & F. L. Milthorpe, *The growth and functioning of leaves*. (p. 151-178). Cambridge: Cambridge University Press.
- De Mason, D.A. (1990). Morphology and anatomy of *Allium*. In H. D. Rabinowitch & J. L. Brewster (eds). *Onions and Allied Crops*, Vol. 1 (p. 27-5). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Dogliotti, S., Colnago, P., Galván, G. & Aldabe, L. (2011). *Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas. Tomate (Lycopersicon esculentum), papa (Solanum tuberosum) y cebolla (Allium cepa)*. Uruguay: Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 85 p.
- Gosse, G., Varlet-Grancher, C., Bonhomme, R., Chartier, M., Allirand, J. M. & Lemaire, G. (1986). Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* 6(1), 47-56.
- Guiducci, M., Antognoni, A. & Benincasa, P. (1992). Effect of water availability on leaf movement, light interception and light utilization efficiency in several field crops. *Rivista di Agronomia*, 27(4), 392-397.
- Heath, O.V.S. & Holdsworth, M. (1943). Bulb formation and flower production. *Nature*, 152, 334-335.
- Ho, L. C. (1988). Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Annual Review of Plant Physiology*, 39, 355-378.

-
- Ho, L. C., Hurd R. G., Ludwing, L. J., Shaw, A. F., Thorneley, J. H. M. & Withers, A. C. (1984). Changes in photosynthesis, carbon budget and mineral content during the growth of the first leaf of cucumber. *Annals of Botany* 54 (1), 87-101.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners*. London: Unwin Hyman. 112p.
- Ibrahim, N. D. (2010). Growth and yield of Onion (*Allium cepa* L.) in Sokoto, Nigeria. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(4), 556-564.
- Islam, M. K., Alam, M. F. & Islam, A. K. M. R. (2007). Growth and yield response of onion (*Allium cepa* L.) genotypes to different levels of fertilizers. *Bangladesh Journal of Botany* 36(1), 33-38.
- Khan, M. U. H., Imran, M. & Chattha, T. H. (2005). Effect of irrigation intervals on growth and yield of onion cultivars Swat-1 and Phulkara. *Journal of Applied Sciences Research* 1(2), 112-116.
- Liu, F. & Stützel, H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae* 102, 15-27.
- Marcelis, L. F. M. (1993a). Effect of assimilate supply on the growth of individual cucumber fruits. *Physiologia Plantarum* 87, 313-320.
- Marcelis, L. F. M. (1993b). Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 1. Effect of fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae* 54, 107-121.
- Marcelis, L. F. M. (1993c). Simulation of biomass allocation in greenhouse crops - A review. *Acta Horticulturae* 328, 49-67.
- Marcelis, L. F. M. (1994). *Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber*. Horticulture PhD thesis. Wageningen: Wageningen Agricultural University. 173p.

-
- Marcelis, L. F. M. & De Koning, A. N. M. (1995). Biomass partitioning in plants. Crop growth. In J. C. Bakker, G. P. A. Bot, H. Challa & Van de Braak (eds). *Greenhouse climate control: an integrated approach* (p. 84-92). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Marín, D. (1989). Análisis de crecimiento en *Canavalia ensiformis* (L.) DC. bajo condiciones de campo. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ* 15, 1-16.
- Martín, G. M., Soto, F., Rivera, R. & Rentería, M. (2006). Estimación de la superficie foliar de la *Canavalia ensiformis* a partir de las medidas lineales de sus hojas. *Cultivos Tropicales*, 27(4), 77-80.
- Mettananda, K. A. & Fordham, R. (1999). The effects of plant size and leaf number on the bulbing of tropical short day onion cultivars (*Allium cepa* L.) under controlled environments in the United Kingdom and tropical field conditions in Sri Lanka. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74, 622-631.
- Nilwik, H. J. M. (1981). Growth analysis of sweet pepper (*Capasicum annuum* L.). I. Influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48(2), 129-136.
- Patrick, J. W. (1988). Assimilate partitioning in relation to crop productivity. *Hortscience* 23, 33-40.
- Pearce, B. D., Grange, R. I. & Hardewick, K. (1993). The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *Journal of Agricultural Science* 68, 1-11.
- Peil, R. M. y Galvez, J. L. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociência* 11(1), 5-11.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C.,

-
- Veneklaas, E.J., Reich, P.B., Poorter, L., Wright, I.J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J.G., De Vos, A.C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J.G., Thompson, K., Morgan, H.D., ter Steege, H., van der Heijden, M.G.A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M.V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S. y Cornelissen, J.H.C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61, 167-234.
- Philrice. (2010). *Onion*. Retrieved from http://pinoyrkb.com/main/vegetable-production-guides/doc_download/1025-onion
- Poorter, H., Lambers, H. & Evans, J.R. (2014). Trait correlation networks: a whole-plant perspective on the recently criticized leaf economic spectrum. *New Phytologist* 201, 378–382.
- Poorter, H., Anten, N. & Marcelis, L. F. M. (2013). Physiological mechanisms in plant growth models: do we need a supra-cellular systems biology approach? *Plant, Cell & Environment* 9, 1673-1690.
- Poorter, H., Bühler, J., Van Dusschoten, D., Climent, J. & Postma, J. A. (2012). Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology* 39, 839-850.
- Poorter, H. & Remkes, C. (1990). Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83, 553-559.
- Purseglove, J. W. (1992). *Tropical Crops: Monocotyledon*, (revised ed.). UK: Longman Scientific and Technical. 607 p.
- Quintero, N. & Correa, C.R. (2011). Comparación de técnicas experimentales para la medición del crecimiento vegetal. *Revista Nacional de Investigación – Memorias* 9(15), 81-94.
- Rey, C., Stahl, J., Antonin, P. & Newry, G. (1974). Stades reprès de l'oignon de semis. *Revue Suisse de Viticulture, arboriculture et Horticulture* 6, 101-104.

-
- Richardson, P. T., Baker, D. A. & Ho, L. C. (1984). Assimilate transport in cucurbits. *Journal of Experimental Botany* 35, 1575-1581.
- Rodríguez, W. & Leihner, D. (2006). *Análisis del crecimiento vegetal* (1 ed.). Volumen 7, serie Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica. 37 p.
- Russell, G., Jarvis, P. G. & Monteith, J. L. (1989). Absorption of radiation by canopies and stand growth. In G. Russell, B. Marshall & P. G. Jarvis (eds.). *Plant canopies*. Society for Experimental Biology Seminar Series, No. 31 (p. 21-39). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schapendonk, A.H.C.M. & Brouwer, P. (1984). Fruit growth of cucumber in relation to assimilate-supply and sink activity. *Scientia Horticulturae* 23, 21-33.
- Taiz, L. & Zeiger, E. E. (2010). *Plant Physiology* (5 ed.). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers. 782p.
- Tei, F., Scaife, A. & Aikman, D. P. (1996). Growth of lettuce, onion, and red beet. I. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany* 78, 633-643.
- Umar, M. S., Muoneke, C. O. & Magaji, M. D. (2000). Influence of intra-row spacing and Mulch material on some soil physical properties, weed control, growth and yield of irrigated onion (*Allium cepa* L). *Journal of Agriculture and Environment* 2, 81-91.
- Venus, J. C. & Causton, D. R. (1979). Plant growth analysis: a re-examination of the methods of calculation of relative growth and net assimilation rates without using fitted functions. *Annals of Botany* 43, 633-638.
- Verkleij, F. N. & Challa, H. (1988). Diurnal export and carbon economy in an expanding source leaf of cucumber at contrasting source and sink temperature. *Physiologia Plantarum* 74, 284-293.

-
- Villar, R, Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F. & Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: Aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En F. Valladares. (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. (191-227). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical*, 56(1), 21-42.
- Wolswinkel, P. (1985). Phloem unloading and turgor-sensitive transport: Factors involved in sink control of assimilate partitioning. *Physiologia Plantarum* 65, 331-339.

CAPÍTULO CUATRO

Dinámica de los elementos nutritivos

Al describir la dinámica de la acumulación de los elementos nutritivos en los distintos órganos de las plantas de cebolla de bulbo 'Yellow Granex', se encontró que en la mayoría de los casos, como era de esperarse, cada elemento en cada órgano manifestaba una tendencia diferente. Por tanto, el análisis de regresión arrojó ecuaciones singulares para cada caso, con coeficientes de determinación (R^2) ente 0,56 y 0,96, significativos en todos los casos al 1,0 o al 5,0 %. En la Tabla 4.1, se enlistan las ecuaciones. Se debe aclarar que, en las ecuaciones, la variable 'y' corresponde al contenido del elemento en cada órgano en particular, en porcentaje o ppm, según el caso. Por su parte, la variable 'x' en la ecuación corresponde al tiempo después de trasplante (DDT), en días.

Tabla 4.1. Ecuaciones de regresión para el contenido de elementos nutritivos en hojas, bulbos y raíces de plantas de cebolla de bulbo híbrido 'Yellow Granex' desde 30 DDS hasta 170 DDT.

| Nutriente | Material vegetal | Ecuación de regresión | R^2 | Sig. |
|-----------|------------------|-----------------------------------|-------|------|
| Nitrógeno | Hojas | $y = 1,63x-0,27x^2+0,014x^3$ | 0,93 | ** |
| | Bulbo | $y = 2,20-0,29x+0,15x^2-0,014x^3$ | 0,85 | * |
| | Raíces | $y = 2,51+0,25x-0,11x^2+0,008x^3$ | 0,92 | ** |
| Potasio | Hojas | $y = 3,93x-0,81x^2+0,04x^3$ | 0,93 | ** |
| | Bulbo | $y = 1,15x-0,06x^2-0,003x^3$ | 0,95 | ** |
| | Raíces | $y = 0,84x-0,068x^2$ | 0,96 | ** |
| Calcio | Hojas | $y = 0,23+0,73x-0,06x^2$ | 0,68 | * |
| | Bulbo | $y = 1,12+0,41x-0,03x^2$ | 0,67 | * |
| | Raíces | $y = 4,02-1,43x+0,28x^2-0,017x^3$ | 0,82 | * |
| Fósforo | Hojas | $y = 0,01+0,12x-0,01x^2$ | 0,94 | ** |
| | Bulbo | $y = 0,38-0,23x+0,07x^2-0,006x^3$ | 0,89 | ** |
| | Raíces | $y = 0,16-0,12x+0,03x^2-0,003x^3$ | 0,89 | ** |
| Azufre | Hojas | $y = 1,17x-0,14x^2+0,006x^3$ | 0,94 | ** |
| | Bulbo | $y = 1,76x-0,40x^2+0,026x^3$ | 0,93 | ** |
| | Raíces | $y = 1,97x-0,37x^2+0,02x^3$ | 0,94 | ** |

Tabla 4.1. (Continuación) Ecuaciones de regresión para el contenido de elementos nutritivos en hojas, bulbos y raíces de plantas de cebolla de bulbo híbrido 'Yellow Granex' desde 30 DDS hasta 170 DDT.

| | | | | |
|-----------|--------|--|------|----|
| Magnesio | Hojas | $y = 0,61(0,854^x)$ | 0,56 | * |
| | Bulbo | $y = 0,11x-0,005x^2-0,001x^3$ | 0,85 | ** |
| | Raíces | $y = 0,12x-0,008x^2+4,41E^4x^3$ | 0,90 | ** |
| Hierro | Hojas | $y = -61,34+253,34x-34,53x^2+1,10x^3$ | 0,84 | * |
| | Bulbo | $y = -199,15+290,26x-36,91x^2+0,88x^3$ | 0,86 | * |
| | Raíces | $y = -11,18+139,61x-9,62x^2$ | 0,70 | * |
| Manganeso | Hojas | $y = 175,57-140,79x+45,87x^2-3,22x^3$ | 0,83 | * |
| | Bulbo | $y = -20,20x+17,89x^2-1,68x^3$ | 0,76 | * |
| | Raíces | $y = 168,11-180,41x+60,32x^2-4,64x^3$ | 0,77 | * |
| Cinc | Hojas | $y = 187,97x-42,77x^2+2,87x^3$ | 0,89 | ** |
| | Bulbo | $y = 89,86-4,54x^2-0,44x^3$ | 0,92 | ** |
| | Raíces | $y = 94,58-56,95x+19,40x^2-1,12x^3$ | 0,96 | ** |
| Sodio | Hojas | $y = 576,75-97,87x+2,83x^2+0,18x^3$ | 0,98 | ** |
| | Bulbo | $y = 96,23+206,39/x$ | 0,60 | * |
| | Raíces | $y = 185,97x-28,01x^2+1,22x^3$ | 0,96 | ** |

* significativo al 5,0%; ** Significativo al 1,0%

Generalidades sobre nutrición en cebolla de bulbo

La cebolla es una planta con raíz poco profunda, por tanto, en la superficie del suelo debería mantenerse normalmente una concentración lo suficientemente alta de nutrientes disponibles, como para fortalecer el crecimiento y lograr un rendimiento óptimo de las plantas (Islam, Alam & Islam, 2007). Nandi, Deb, Maity y Sounda (2002) reportaron que el crecimiento y el rendimiento en plantas de cebolla están influenciados positivamente por la aplicación de diferentes dosis de materiales fertilizantes. Por su parte, Muthuramalingam, Kumaran, Muthuvel y Sathiyamurthy (2002) llegaron a la misma conclusión cuando evaluaron el crecimiento y rendimiento en cebolla.

Vidigal et al. (2010) mencionan que la acumulación de la mayoría de los nutrientes en las plantas de cebolla cultivada en el norte de Minas Gerais (Brasil) fue similar a la tendencia que presentó la acumulación de masa seca en las mismas plantas. Lo cual fue observado también por Pôrto et al. (2006), y por Pôrto et al. (2007), con un aumento creciente de los contenidos de nutrientes hasta los 102 DDS, con excepción del Mn y Zn. Este es un resultado recurrente en la mayoría de las hortalizas (Ferreira, Castellane & Cruz, 1993). En los híbridos de cebolla

'Optima' (Pôrto et al., 2006) y 'Superex' (Pôrto et al., 2007), el K fue el nutriente más absorbido, seguido del N y el Ca. De igual manera, Vidigal, et al. (2010) manifiestan que el S, el P y el Mg fueron absorbidos por las plantas en cantidades menores que los nutrientes mencionados anteriormente. En relación con el P y el Mg, Vidigal et al. (2010) encontraron diferencias considerables entre el cultivar 'Alfa Tropical' y los híbridos 'Optima' y 'Superex', evaluados por (Pôrto et al., 2006 y 2007). En cuanto a los microelementos, el orden de absorción, según Vidigal et al. (2010), fue Fe>Mn>Cu>Zn, mientras que Pôrto et al. (2007) mencionan un orden de absorción para macro y micronutrientes, así: K>N>Ca>S>Mg>P. Por su parte, Vidigal, Pereira & Pacheco (2002) proponen el siguiente orden: K>N>Ca>S>P>Mg. Vidigal et al. (2010) indican que la acumulación de nutrientes en el bulbo tuvo una tendencia creciente hasta el momento de la cosecha (102 DDS o 132 DDT, según la siembra fuera directa o por trasplante), exceptuando al Zn y el Mn, en los cuales, la máxima acumulación en el bulbo sucedió a los 94 y 101 DDS, respectivamente.

El porcentaje de acumulación de nutrientes en el bulbo, en relación con la realizada por la planta completa, según el trabajo de Vidigal et al. (2010), fue así: N: 52,32; P: 65,22; K: 42,61; S: 62,19; Ca: 35,71; Mg: 39,37; Zn: 62,94; Fe: 40,03; Mn: 33,14 y Cu: 14,65. Además, los mismos autores reportan que la máxima absorción diaria de nutrientes tiene lugar durante el periodo de pleno desarrollo de la parte aérea y durante la etapa de formación del bulbo, momento en el que ocurre la mayor producción de fotoasimilados para la formación del bulbo, según Brewster (1994), y, como consecuencia, en esta época sucede la mayor demanda de nutrientes, probablemente debido al aumento en la actividad metabólica asociada a la actividad hormonal y a la división y crecimiento celular para la formación de tejidos nuevos (Taiz & Zeiger, 2010).

Contenido de nitrógeno (N)

A partir del momento del trasplante (50 DDS), el contenido de N se incrementó en las hojas y en los bulbos hasta los 110 DDS, para luego decrecer hasta el momento de la cosecha. El incremento registrado en hojas y bulbos fue una consecuencia de la segunda fertilización, realizada a los 88 DDS. Por otro lado, la concentración del elemento en las raíces tuvo una tendencia decreciente desde

el momento de la cosecha (Fig. 4.1). De hecho, la tendencia de las curvas no es tan clara como para inferir categóricamente una movilización del N de las hojas hacia el bulbo, sin embargo, se debe asumir esta migración dada la alta movilidad del elemento de los órganos fuente (hojas) a los órganos vertedero (bulbos). Caldwell, Sumner y Vavrina (1994) reportan un valor promedio DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) para el N en cebolla, de 3,68%, lo cual se encuentra dentro del margen de los valores encontrados en el presente trabajo. Estos resultados, en cuanto a la dinámica del N en los diferentes órganos, coinciden parcialmente con los reportes de Haag, Home y Kimoto (1970), Menezes Júnior, Gonçalves y Kurtz (2013) y Vidigal et al. (2010). Por tanto, con base en este comportamiento del N durante el ciclo del cultivo, los agricultores deben tomar en consideración el uso de fuentes de N de alta solubilidad, los cuales deben estar disponibles hasta 60 DDT, con la intención de no causar alteraciones en el crecimiento por alguna deficiencia del elemento en este periodo, puesto que Rahn, Shepherd y Hiron (1996) señalan que los agricultores se deben asegurar de que el N mineralizado esté disponible en la zona de las raíces de las plantas de cebolla, particularmente durante los estados iniciales del crecimiento de las plantas. De esta manera, cuando se utilizan abonos orgánicos, se deben tomar las precauciones del caso para evitar su inmovilización por la actividad bacteriana.

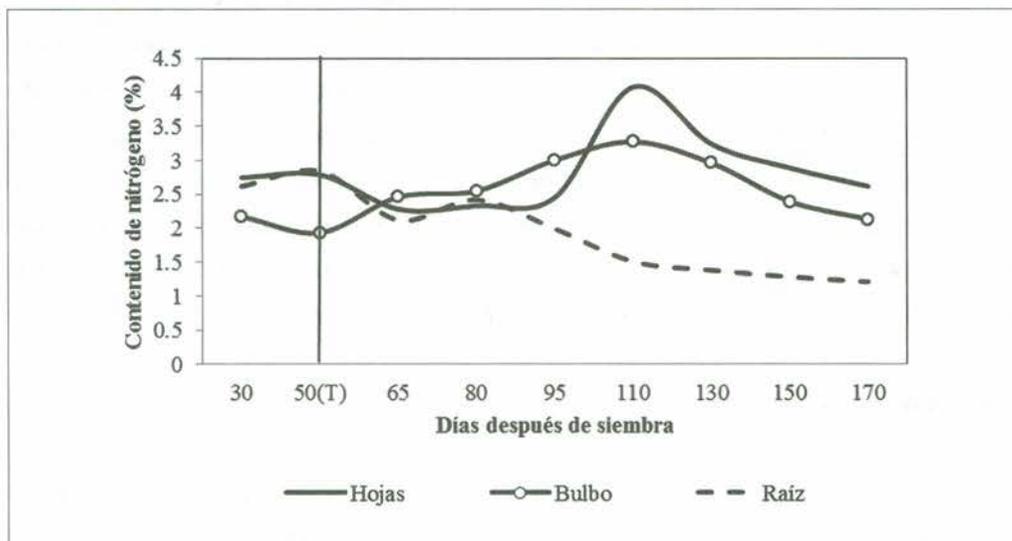


Figura 4.1. Contenido de nitrógeno en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Podría pensarse en la adición de los elementos nutritivos mediante pulverizaciones foliares, como alternativa a la fertilización edáfica, con el objeto de suplir parcialmente, y de manera rápida la necesidad de N o de otro nutriente en plantas de cebolla de bulbo. Este procedimiento podría ser de utilidad en otras hortalizas, sin embargo, debe tenerse en cuenta que las hojas de la cebolla de bulbo presentan una cutícula cerosa, la cual reduciría sustancialmente tanto la penetración de los elementos contenidos en la solución, como la permanencia de las gotas sobre las hojas, dado que estas presentan una arquitectura erecta que facilitaría el escurrimiento del producto pulverizado. Al respecto, Boaretto y Muraoka (1989) y Malavolta (2006) mencionan que la eficacia de las aspersiones foliares depende de varios factores entre los que se encuentra el tipo de planta. En este caso, la cutícula representa una barrera a la penetración de compuestos disueltos, debido a la capa lipídica; por tanto, la penetración de un compuesto se disminuye con la presencia de ceras, las cuales repelen soluciones y suspensiones nutritivas, provocando su escurrimiento y reduciendo el tiempo de contacto necesario para que suceda la absorción pasiva de los fertilizantes foliares.

En relación con la movilidad del N (N-amina), esta es alta en plantas, en general. Además, para los nutrientes con alta movilidad en el floema, como el N, en forma de N-amina, la importancia relativa del transporte por floema y xilema hacia algún órgano, depende principalmente de la etapa de desarrollo del órgano. La migración del N-nítrico representa solo una pequeña fracción de la importación del N por el xilema, y, así mismo, la tasa de movilidad del N por el floema está relacionada con la tasa neta de fijación de CO₂ en las láminas foliares. Además es importante resaltar que la concentración de N-amina en la relación floema/xilema es de 38,2 (10.808/ 283 µg ml⁻¹), lo que pone de manifiesto la alta migración de N a través del floema (Marschner, 1995).

En otros trabajos realizados en cebolla de bulbo, se encontró que los porcentajes de N, tanto en las hojas como en el bulbo, se incrementaron lentamente hasta llegar a su máximo contenido a los 130 días de edad de las plantas (DDE). Además, el contenido de este nutriente disminuyó a medida que la planta se acercaba al final del ciclo. A los 130 DDE se encontró 4,49% de N en hojas y 3,31% en bulbos. Al final del ciclo (190 DDE), las plantas presentaban 2,73% de N en hojas y 1,80 % en bulbos (Haag et al., 1970). Por su parte, Menezes Júnior

et al. (2013) destacan que entre 48 y 108 días después del trasplante (DDT), la extracción de N en plantas de cebolla alcanza un rango entre 3,24 y 42,93 kg ha⁻¹. Estos valores se lograron cuando los autores utilizaron diversas fuentes de biofertilizantes y fertilizantes orgánicos. Al momento de la cosecha (148 DDT), la extracción de N por parte de los bulbos fue de 29,3 a 64,5 kg ha⁻¹, dependiendo de la fuente de fertilización.

Vidigal et al. (2010), en las condiciones de Brasil, reportaron que en siembra directa de semillas de cebolla, las plantas completas presentaron una acumulación máxima de N de 191,83 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 3,70 mg planta⁻¹ día⁻¹. En los bulbos, la acumulación máxima fue de 100,37 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 4,80 mg planta⁻¹ día⁻¹. Cuando estos autores utilizaron el sistema de trasplante, la acumulación máxima de N en la planta completa fue de 211,75 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción en la planta de 14,86 mg planta⁻¹ día⁻¹. En los bulbos, la máxima absorción de N fue de 106,63 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 17,22 mg planta⁻¹ día⁻¹. En siembra directa, el máximo contenido de N en la parte aérea sucedió a los 94 DDS, en los bulbos y en toda la planta, tuvo lugar a los 101 DDS. Al utilizar trasplante, el máximo contenido de N en la parte aérea se presentó a los 101 DDS, en el bulbo a los 122 DDS y en toda la planta, a los 115 DDS.

Según Pôrto et al. (2007), el N fue el segundo nutriente más acumulado en plantas de cebolla, luego del K. Estos autores indican que en cebollas de bulbo del híbrido 'Superex', al final del ciclo productivo de las plantas (150 DDS), se encontró el 33% de la acumulación total de N en la parte aérea, y el 67%, en los bulbos. Además, se consideró que el periodo de mayor requerimiento de N en la parte aérea se encontraba entre 50 a 90 DDS, mientras que en los bulbos, este periodo se ubicó entre los 110 y 150 DDS. El hecho de que al final del ciclo, el contenido de N fuera mayor en bulbos que en la parte aérea se justificó con la migración del N desde los órganos aéreos al bulbo. En el híbrido 'Optima', Pôrto et al. (2006), al final del ciclo (150 DDS) encontraron en la parte aérea el 43% del N total acumulado en la planta, y el 57%, en los bulbos. El mayor requerimiento de N en la parte aérea se presentó entre 50 y 90 DDS, mientras que en los bulbos se registró entre 90 y 110 DDS.

El N en plantaciones de cebolla es muy importante para alcanzar un rendimiento óptimo y es esencial para aumentar el tamaño y el rendimiento del bulbo, además, el aumento en las dosis de N, hasta 180 kg de N ha⁻¹, se traduce en una reducción de la producción de bulbos de tamaño no comercial (Resende, Costa & Pinto, 2008). En un trabajo realizado en India, Patel y Patel (1990) mencionan que el nivel de N tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del bulbo, el cual se incrementó con el aumento de N hasta un nivel de 90 kg N ha⁻¹. También en India, Pandey y Ekpo (1991) concluyeron que los mayores valores de altura y número de hojas por planta se obtuvieron con 160 kg N ha⁻¹. Estos autores también mencionan que el rendimiento máximo del bulbo (46,02 t ha⁻¹) y el peso del bulbo promedio (197,8 g) se obtuvieron con la adición de 120 kg N ha⁻¹. Singh, Lal, Rai y Lal (1994) en India, establecieron que el rendimiento, el peso neto de 50 cebollas y el peso seco total eran mejores en lotes tratados con N a razón de 80 kg ha⁻¹. Rana y Sharma (1994) en India, encontraron que la aplicación 120 kg N ha⁻¹ aumentó significativamente el peso seco de cada bulbo, el peso de 100 bulbos, el diámetro y el rendimiento del bulbo.

En Holanda, De Visser (1998) informó que la aplicación fraccionada de N no tuvo efecto sobre la pérdida estimada de N durante la estación de crecimiento, pero tuvo efectos positivos sobre el rendimiento de diferentes cultivares de cebolla. En Michigan (USA), Herison, Masabin y Zandstra (1993) reportaron que plántulas de mayor tamaño al momento de trasplante y una mayor aplicación de N inducen la producción de bulbos de mayor tamaño al momento de la cosecha. En Pakistán, Khan, Iqbal, Ghaffoor y Waseem (2002) informaron que el rendimiento máximo de los bulbos de cebolla (22,90 y 22,82 t ha⁻¹) se obtuvo con un espaciamiento de 12 cm entre plantas y con la adición de 100 kg N ha⁻¹, respectivamente. En Pakistán, Ghaffoor, Jilani, Khaliq y Waseem (2003) encontraron que el fertilizante N-P-K 150-100-50 kg ha⁻¹ dio los mejores resultados en lo que se refiere al número de hojas por planta, la supervivencia del bulbo, el diámetro del bulbo, el rendimiento comercial, el porcentaje de bulbos de desecho y el rendimiento total. Por su parte, Jilani, Ghaffoor, Waseem y Farooqi (2004) consideraron que la aplicación de 120 kg N ha⁻¹ es una dosis óptima para obtener el máximo rendimiento y crecimiento de las plantas de cebolla en las condiciones de Pakistán.

Contenido de fósforo (P)

A partir del trasplante, el contenido de P se incrementó en hojas, bulbos y raíces, hasta los 95, 130 y 110 DDS, respectivamente, y luego su concentración descendió hasta el momento de la cosecha (Fig. 4.2). El incremento en el contenido de P, encontrado en todos los órganos analizados alrededor de 95 DDS, se presentó debido a que se realizó una segunda aplicación de fertilizantes a los 88 DDS. Estos hallazgos semejan los reportes de Haag et al. (1970), Vidigal et al. (2010) y Pôrto et al. (2006 y 2007), pero difieren de lo encontrado por Bosch (1999), en cuyo trabajo, el contenido de P se incrementó hasta 200 DDS y se redujo solamente 15 días después en tres de los cuatro cultivares de cebolla evaluados. La diferencia en los hallazgos del presente trabajo y el de Bosch (1999), radica básicamente en los materiales vegetales utilizados, puesto que en el presente trabajo se utilizó el híbrido 'Yellow Granex', cuyo ciclo fue de 170 días en el Valle de Sugamuxi en Boyacá, Colombia, mientras que Bosch (1999) trabajó con los materiales 'Albeno', 'Albion', 'BAV-E58' y 'Valencia de Grano' en España. Por otro lado, los valores encontrados en este trabajo para el contenido de P en los tejidos de las plantas de cebolla, se encuentran alrededor del valor normal planteado por Caldwell et al. (1994), quienes reportan para P, un valor DRIS promedio para cebolla de bulbo de 0,37%.

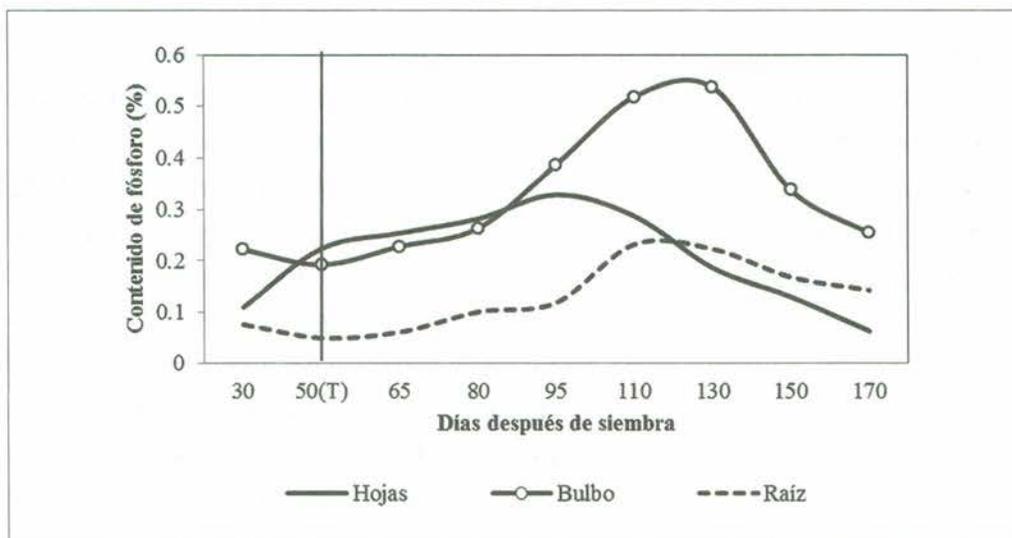


Figura 4.2. Contenido de fósforo en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Dada la dinámica del P encontrada en el presente trabajo, el suministro del elemento debe darse durante los dos primeros tercios del ciclo de las plantas de cebolla. Sin embargo, en la mayoría de los suelos tropicales es clara la dificultad que existe en la fertilización fosfórica. A diferencia del N y del S, que son otros elementos nutritivos que se absorben en forma aniónica, el P es un elemento poco móvil en el suelo. A pesar de que muchas plantas contienen el P en menor cantidad que el N, el K, y el Ca, se tiene al P como factor limitante, con más importancia que el Ca y quizás más que el K, en la mayoría de los vegetales.

El P lábil puede adsorberse directamente por las arcillas, o puede estar adsorbido a los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas. Una gran parte del fósforo soluble contenido en los fertilizantes aplicados a los cultivos se transforma en el suelo en formas poco solubles o insolubles, que disminuyen o dificultan en gran medida la disponibilidad y posterior asimilación del elemento por las plantas. Por otro lado, la práctica del encalado en los suelos ácidos tropicales puede limitar también la disponibilidad del P, dado que el encalado de los suelos reduce la actividad de la fosfatasa en estos suelos, debido a la degradación de esta enzima por otros componentes del suelo (Pang & Kolenko, 1986). Por otro lado, el encalado puede causar la disminución de la disponibilidad de P, debido a la formación de complejos (fosfato de calcio) insolubles. Por tanto, para asegurar la disponibilidad de P en los momentos críticos de demanda del elemento en las plantas de cebolla de bulbo, es aconsejable incentivar entre los agricultores la inoculación de las plántulas con micorrizas, al momento del trasplante. Esta sería una alternativa económica y efectiva para lograr la disponibilidad del elemento cuando las condiciones químicas del suelo son limitantes, además, como mencionan Agudelo Becerra y Casierra Posada (2004), la adición de micorrizas incrementa sustancialmente la producción en cebolla 'Yellow Granex', mejora la calidad de los bulbos y reduce las pérdidas por pudriciones en los bulbos.

Es conocida ampliamente la alta movilidad del P en el floema de las plantas, cuya relación de concentración floema/xilema alcanza un valor de 6,4 (434,6/68,1 $\mu\text{g ml}^{-1}$). Se ha encontrado que después de la aplicación de ^{32}P (fósforo marcado) a una de las dos hojas primarias maduras, el ^{32}P se transporta hasta el ápice de brotes y raíces, mientras que el transporte a la siguiente hoja primaria es

insignificante. El P, al igual que el K, el Mg y el N-amina, puede ser removilizado a partir de la utilización de los nutrientes almacenados en las vacuolas (Marschner, 1995).

Haag et al. (1970) reportan que los porcentajes de P encontrados en hojas y en el bulbo se incrementaron hasta alcanzar su máxima concentración a los 130 días de edad de la planta (DDE). Se encontró 0,39% de P en hojas y 0,40% en bulbos a los 130 DDE. Además, la concentración de este elemento disminuye en la medida que la planta avanza hacia el final del ciclo (190 DDE), hasta alcanzar valores de 0,31% en hojas y 0,31% en los bulbos. Menezes Júnior et al. (2013), en las condiciones de Brasil, mencionan que en la parte aérea, las plantas de cebolla extraen entre 0,47 y 0,80 kg P ha⁻¹ a los 48 DDT, entre 1,88 y 3,67 a los 68 días y entre 7,45 y 9,05 kg P ha⁻¹ a los 108 DDT (al momento de cosecha). Por su parte, los bulbos extrajeron entre 6,73 y 12,62 kg P ha⁻¹ a los 148 DDT.

Vidigal et al. (2010) encontraron que cuando utilizaron siembra directa, la acumulación máxima de P en plantas de cebolla fue de 36,75 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 0,78 mg planta⁻¹ día⁻¹. En los bulbos, la máxima absorción de P fue de 23,97 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 0,96 mg planta⁻¹ día⁻¹. Bajo este sistema, la máxima concentración de P en bulbos y en toda la planta se presentó a los 101 DDS, mientras que en la parte aérea sucedió a los 87 DDS. Por otra parte, cuando se utilizó el trasplante, la acumulación máxima de P en plantas enteras de cebolla fue de 33,35 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 1,68 mg planta⁻¹ día⁻¹. En bulbos, la máxima acumulación de P fue de 28,0 mg planta⁻¹, con una tasa de absorción de P de 8,36 mg planta⁻¹ día⁻¹. El contenido máximo de P en bulbos y en la planta completa se encontró a los 115 DDS, mientras que en la parte aérea sucedió a los 101 DDS.

Pôrto et al. (2007) encontraron que el P fue el macronutriente acumulado en menor cantidad en plantas de cebolla del híbrido 'Superex'. Su mayor acumulación sucedió entre 110 y 150 DDS. El 85% del P total de las plantas se acumuló en los bulbos, mientras que el porcentaje restante (15%) se alojó en la parte aérea. El incremento en la acumulación de P en la parte aérea cesó a partir de 90 DDS, mientras que en el bulbo, la acumulación de P fue creciente hasta el momento de la cosecha (150 DDS). Asimismo, en el híbrido 'Optima', Pôrto et al. (2006),

mencionan que la mayor acumulación de P en la planta completa fue entre 70 y 130 DDS, momento en que la parte aérea presentó el 61% del P total de la planta en el bulbo y 39% en la parte aérea. La acumulación de P en la parte aérea, prácticamente cesa a partir de 110 DDS, mientras que en el bulbo el contenido de P es creciente hasta el momento de la cosecha (150 DDS).

Contenido de potasio (K)

El contenido de K en los tejidos se incrementó desde el momento del trasplante hasta los 95 DDS en hojas y 110 DDS en bulbos y raíces; posteriormente descendió hasta el momento de la cosecha (Fig. 4.3). El incremento encontrado a los 95 DDS en todos los tejidos analizados se presentó como consecuencia de la segunda aplicación de fertilizantes, realizada a los 88 DDS. Al respecto, Caldwell et al. (1994) mencionan un valor promedio de 3,10% para el contenido de K en hojas, por tanto, a pesar de que a los 95 DDS se registró un valor de 6,56% en las hojas, como el valor de mayor cuantía durante el ciclo; luego del trasplante, los valores del porcentaje de K en las hojas oscilaron entre 2,24 y 6,56, cuyo promedio (4,4%) se encontró por encima del valor promedio reportado por Caldwell et al. (1994). De igual manera, Bosch (1999) indica contenidos extremos de K en hojas de cebolla de bulbo en el rango de 2,46 y 5,04%. Los valores encontrados en el presente estudio se asemejan a los reportados por Haag et al. (1970), Menezes Júnior et al. (2013), en cuanto al contenido de K en los tejidos, y a los reportados por Pôrto et al. (2006 y 2007), en cuanto a los periodos de máxima acumulación del elemento en los tejidos.

La alta exigencia de K que se presenta en los cultivos que almacenan compuestos orgánicos en los bulbos, como la cebolla, se puede justificar con la función del K en el transporte de fotoasimilados desde las hojas a los órganos de reserva (Faquin, 1994; Pôrto et al., 2007), puesto que Taiz y Zeiger (2010) mencionan que el K en plantas desempeña una función importante en la regulación del potencial osmótico de las células, así como también en la apertura y cierre de estomas.

El K es reconocido como un elemento de alta movilidad en el xilema y floema, con una relación de concentración floema/xilema de 3,673 (204,3/18 $\mu\text{g ml}^{-1}$).

Una alta cantidad de K se toma en zonas de las raíces más basales y se trasloca a través del floema hacia el ápice de la raíz, la cual actúa como vertedero del nutriente, después de la descarboxilación de ácidos orgánicos, el K juega un papel importante como contra-ión (ion que acompaña a una especie iónica con el fin de mantener su neutralidad eléctrica) para el transporte de nitratos a través del xilema. Por último, la removilización del potasio sucede a partir del K acumulado en la vacuola (Marschner, 1995).

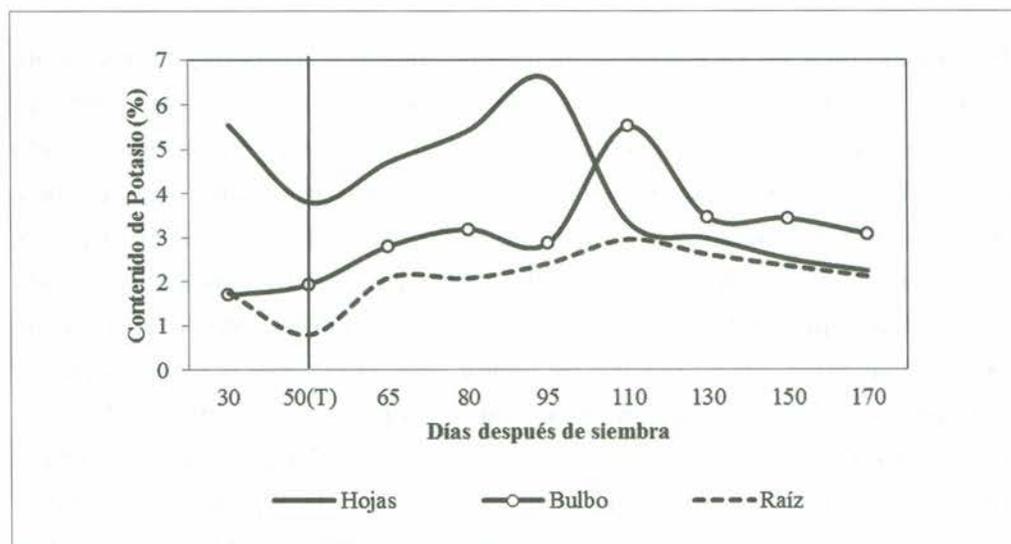


Figura 4.3. Contenido de potasio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Los porcentajes de K encontrados en las hojas y en el bulbo se incrementaron lentamente hasta llegar a su máximo valor a los 100 días de edad de las plantas (DDE), para disminuir posteriormente a medida que la planta iba llegando al final del ciclo. A los 100 DDE se encontraron 6,70% en hojas y 6,25% de K en bulbos (Haag et al., 1970). Menezes Junior et al. (2013) determinaron que la extracción de la parte aérea en cebolla de bulbo (en kg K ha⁻¹) fue de 1,65 a 4,17 a los 48 DDT, de 6,78 a 10,91 a los 68 DDT y de 21,82 a 26,80 a los 108 DDT. Los bulbos, al momento de la cosecha (148 DDT), presentaron una extracción en el rango de 18,82 y 39,27 kg K ha⁻¹.

En las condiciones de Brasil, Vidigal et al. (2010) reportaron que con siembra directa, la acumulación máxima de K en la planta fue de 241,89 mg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 4,64 mg planta⁻¹ día⁻¹; mientras que en

los bulbos la máxima acumulación fue de 103,06 mg planta⁻¹, con una tasa de absorción de 4,61 mg planta⁻¹ día⁻¹. Estos valores se encontraron a los 101 DDS en bulbos y en la planta entera, y a los 94 DDS en la parte aérea. Sin embargo, cuando se utilizó el trasplante, la acumulación máxima de K en la planta entera fue de 228, 25 mg planta⁻¹, con una tasa de acumulación de 13,07 mg planta⁻¹ día⁻¹. En los bulbos, la acumulación máxima de K fue de 121,76 mg planta⁻¹, con una tasa de absorción de 48,26 mg planta⁻¹ día⁻¹. El máximo contenido de K en toda la planta sucedió a los 115 DDS, en la parte aérea a los 108 DDS y en el bulbo a los 122 DDS.

Pôrto et al. (2007) mencionan que el K es el nutriente que se acumuló en mayor cantidad en las plantas de cebolla híbrido 'Superex', en las condiciones de Brasil. Del total del K acumulado por las plantas al final del cultivo (150 DDS), en los bulbos se acumuló el 68%. La mayor demanda de K por la planta sucedió entre 70 y 130 DDS, periodo en el que las plantas de cebolla acumularon el 65% del K total acumulado. La mayor demanda de K en la parte aérea sucedió entre 50 y 70 DDS, mientras que en el bulbo, la mayor demanda sucedió entre 110 y 130 DDS. En el híbrido 'Optima', Pôrto et al. (2006) registraron que la mayor demanda de K en la planta entera se presentó entre 70 y 110 DDS, en donde la planta acumuló 51% del K total acumulado. Los periodos de mayor demanda de K en la parte aérea y en el bulbo fueron 50-70 y 90-130 DDS, respectivamente.

Contenido de azufre (S)

La concentración de S tuvo un comportamiento relativamente estable durante todo el ciclo del cultivo, en comparación con otros elementos que mostraron una variabilidad bastante alta. Los periodos de máxima concentración de S en los tejidos se presentaron a los 150 DDS en hojas, al momento del trasplante (50 DDS) en bulbos y raíces (Fig. 4.4). Los contenidos de S en hojas, después del trasplante, estuvieron en el rango entre 2,15 y 4,18 %, mientras que Caldwell et al. (1994) mencionan un valor promedio de S en cebolla de bulbo de 0,36%. Por tanto, el valor para la concentración de S encontrado en el presente trabajo, estuvo por encima del promedio establecido por Caldwell et al. (1994) y de los valores encontrados por Haag et al. (1970). Sin embargo, este hallazgo no sería un factor limitante para el crecimiento de las plantas, dado que la cebolla

es una planta exigente en S, el cual es normalmente el tercer o cuarto nutriente en orden de acumulación en la planta, según Malavolta (1980). Por otra parte, los valores obtenidos en el presente trabajo se deben tomar como referentes para el cultivo de cebolla de bulbo en la región, puesto que se obtuvieron en las condiciones locales, y además, los suelos y el clima presentan sus singularidades y son determinantes para la fisiología y la nutrición de las plantas.

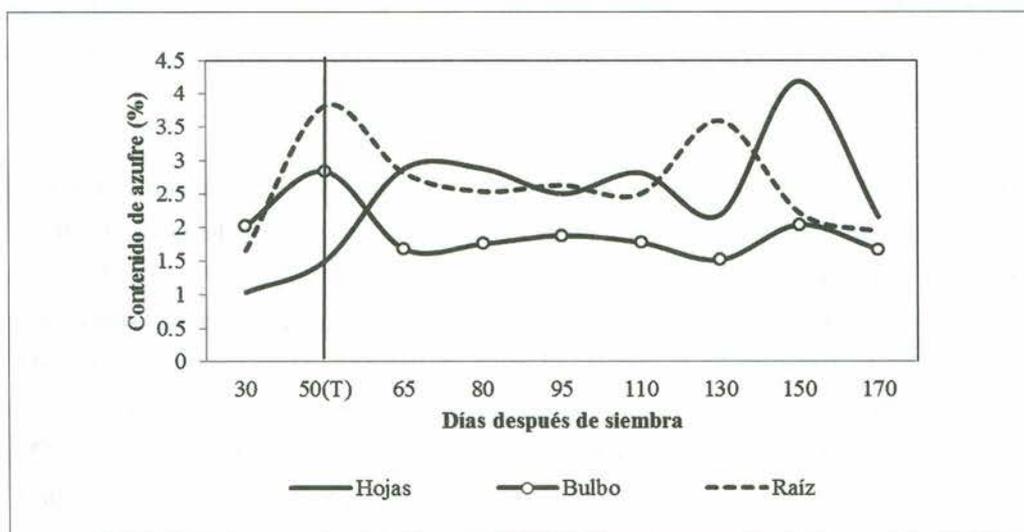


Figura 4.4. Contenido de azufre en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Altos niveles de azufre pueden contribuir a incrementar la pungencia en cebollas, lo cual puede ser indeseable, si la intención del cultivo es producir cebollas de sabores suaves, no muy picantes. El compuesto responsable del sabor de las cebollas y de la pungencia es el disulfuro de alil propilo. Además, la pungencia en cebollas parece estar relacionada con la producción de masa seca (Valenzuela & Kratky, 1999).

La movilidad del S por el floema es bastante alta. Se ha encontrado un valor de su contenido en la relación floema/xilema de 3,2 ($138,9/43,3 \mu\text{g ml}^{-1}$). Entre algunos elementos minerales, el K está generalmente presente en la más alta concentración en los tejidos, seguido por el P, el Mg y el S. Este último elemento se encuentra en los tejidos vegetales en forma reducida (glutación, metionina y cisteína) o como sulfato, y las concentraciones de sulfatos en la savia que fluye por el floema pueden ser tan altas como las de fosfatos (Marschner, 1995).

Haag et al. (1970) mencionan que en plantas de cebolla cultivadas en las condiciones de Brasil, el contenido de S en hojas aumentó lentamente de 0,51 a 0,75% en hojas y de 0,36 a 0,55% en bulbos, en el lapso de 70 a 175 días de edad de las plantas (DDE) y disminuyó a los 190 DDE a valores de 0,54 en hojas y 0,56 % en bulbos. Vidigal et al. (2010) encontraron que cuando se utiliza siembra directa, la planta completa de cebolla presenta una acumulación máxima de $66,15 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de S de $2,18 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En bulbos, se registró una tasa máxima de absorción de S de $41,14 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa de absorción de $2,59 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Estos valores se presentaron a los 101 DDS en la planta completa y en los bulbos, y a los 94 DDS en la parte aérea. Además, cuando se utilizó el trasplante, la acumulación máxima de S fue de $35,59 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de S de $2,23 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en la planta completa, mientras que en los bulbos, la máxima absorción fue de $19,99 \mu\text{g planta}^{-1}$ con una tasa de absorción de $3,74 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, valores que se presentaron a los 115 DDS en la planta completa, a los 122 DDS en los bulbos y a los 101 DDS en la parte aérea.

Según el aporte de Pôrto et al. (2007), quienes evaluaron el híbrido de cebolla 'Superex' en las condiciones de Brasil, al final del ciclo del cultivo (150 DDS), la mayor demanda de S sucedió entre 90 y 150 DDS. La mayor demanda de S por la parte aérea tuvo lugar entre 70 y 110 DDS, mientras que el bulbo demandó la mayor cantidad de S entre 110 y 150 DDS. A los 150 DDS (momento de la cosecha), el bulbo contenía 81% del S total absorbido por la planta en ese momento, mientras que la parte aérea contenía el 19% restante. Pôrto et al. (2006), en el híbrido 'Optima', reportaron que la mayor demanda de S se presentó entre 70 y 130 DDS. La parte aérea demandó más S entre 70 y 110 DDS, mientras que en el bulbo sucedió entre 90 y 130 DDS. Por su parte, Nasreen, Haq y Hossain (2003) precisaron que del total del S acumulado por la planta entera de cebolla a los 90 DDT (145 DDS), el 12% se encontraba en las hojas y el 82% restante se acumuló en el bulbo.

Contenido de calcio (Ca)

Este elemento presentó la mayor concentración en las hojas a los 95 DDS (2,59%), en los bulbos a los 110 DDS (2,71%) y en las raíces al momento del trasplante (50

DDS, con un valor de 2,45%). En los bulbos su contenido se incrementó hasta 110 DDS y después decreció hasta el momento de la cosecha, mientras que en hojas, desde el trasplante (50DDS) se presentó un incremento hasta 95 DDS y luego decreció hasta la cosecha (Fig. 4.5). Los valores encontrados superan los reportados por Haag et al. (1970) y por el valor promedio recomendado por Caldwell et al. (1994) para cebolla de bulbo (1,37%). Sin embargo, se debe tomar en consideración que en la región se realiza comúnmente el encalado, como fuente de Ca y como enmienda para disminuir las consecuencias de los suelos ácidos, así que estos valores relativamente altos en relación con otros reportes serían de esperarse. Igualmente, se debe orientar la atención en las relaciones entre el Ca, el Mg, el K y el Na, elementos que presentan relaciones antagónicas y por tanto, el valor alto o bajo del cociente entre los contenidos de estos elementos en los tejidos sí afectaría sustancialmente la disponibilidad de las bases.

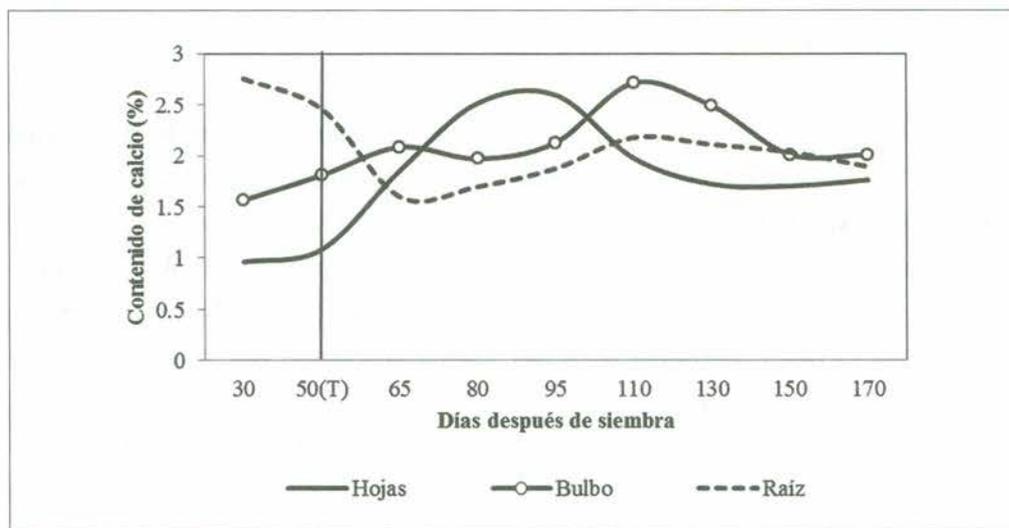


Figura 4.5. Contenido de calcio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Se menciona que la movilidad del Ca por el floema es bastante baja. Se ha encontrado que el contenido de Ca en la relación floema/xilema presenta valores de 0,44 (83,3/182,2 $\mu\text{g ml}^{-1}$). Así que debido a su baja concentración en la savia que fluye por el floema, el transporte de Ca a los órganos vertedero durante el crecimiento, como ápices, hojas jóvenes o bulbos, tiene lugar casi exclusivamente en el xilema. Se ha visto una correlación positiva bastante estrecha entre la

distribución de Ca y la tasa de transpiración de los órganos de la parte aérea, efecto que también se ha observado en menor cantidad para el Mg, mientras que para el K es insignificante (Marschner, 1995).

Haag et al. (1970) reportaron que el contenido de Ca en hojas aumenta hasta un valor máximo que se alcanza a los 130 DDE y luego se estabiliza. En los bulbos, el contenido de Ca llega a su máximo valor a los 85 DDE (0,86%) y luego desciende hasta alcanzar el menor valor a los 190 DDE (0,16%), momento en que sucedió la cosecha. En hojas, entre 70 y 130 DDE, el contenido de Ca en hojas aumenta desde 0,32 hasta 0,40%, y luego se estabiliza para terminar, al momento de la cosecha, en un valor de 0,41%.

Vidigal et al. (2010) mencionan que con la utilización de siembra directa, en la planta entera, las plantas de cebolla presentaban una acumulación máxima de $88,79 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de Ca de $1,76 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En el bulbo, la acumulación máxima de Ca fue de $31,71 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de $1,93 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Estos valores se alcanzaron a los 94 DDE en plantas completas en la parte aérea, y a los 101 DDE, en los bulbos. Por otra parte, cuando estos autores utilizaron trasplante, se encontró una acumulación máxima de $104,17 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de Ca de $6,86 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En el bulbo, la acumulación máxima de Ca fue de $46,97 \mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa máxima de absorción de $12,43 \mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Estos valores se registraron a los 115 DDE en plantas completas, en la parte aérea y en los bulbos.

Pôrto et al. (2007) encontraron que el Ca fue el tercer nutriente más absorbido por las plantas de cebolla híbrido 'Superex', cuyo mayor contenido en las plantas completas se registró entre 90 y 130 DDS. En este periodo el contenido de Ca en la planta completa correspondió al 55% del Ca total acumulado en el ciclo de cultivo. En la parte aérea, la mayor demanda se presentó entre 70 y 110 DDS, mientras que en los bulbos se manifestó entre 110 y 150 DDS. Al final del ciclo del cultivo (150 DDS), la parte aérea participó con el 43% del calcio total acumulado en ese momento, mientras que el bulbo contenía el 57%. En el híbrido 'Optima', Pôrto et al. (2006), por su parte, reportaron que entre 70 y 130 DDS sucedió el máximo incremento en el contenido de Ca en la planta,

registrándose el 85% del Ca total acumulado por la planta. El periodo de mayor demanda de Ca en la parte aérea se presentó entre 70 y 110 DDS, mientras que en los bulbos fue entre 90 y 130 DDS. Al final del ciclo (150 DDS), la parte aérea y el bulbo contenían 47 y 43%, respectivamente, del Ca acumulado en la planta en ese momento.

En plantas de cebolla de bulbo cultivadas en Brasil, Menezes Junior et al. (2013) estimaron la extracción de Ca, en kg ha^{-1} , en el rango de 1,10 y 1,57 a los 48 DDT; entre 3,97 y 6,78 a los 68 DDT, y entre 11,65 y 19,10 a los 108 DDT. Al momento de la cosecha (148 DDT), la extracción de Ca estuvo en el rango de 8,40 y 20,19 kg ha^{-1} .

Contenido de magnesio (Mg)

El Mg presentó una dinámica variable en los órganos analizados, durante todo el ciclo del cultivo. A partir del momento de trasplante (50 DDS), se presentó un ascenso en el contenido de Mg en los tres tejidos evaluados, encontrándose las mayores concentraciones del elemento a los 95 DDS en las hojas, bulbos y raíces, con valores de 0,55; 0,43 y 0,47%, respectivamente. Este incremento en el contenido de Mg encontrado a los 95 DDS, se presentó como consecuencia de la segunda aplicación de fertilizantes, a los 88 DDS, en la cual no se empleó Mg sino N, P y especialmente K; sin embargo, dadas las relaciones sinérgicas con otros elementos, se pudo registrar este incremento en la toma y acumulación de Mg en todos los tejidos analizados. A partir de ese momento, el contenido de Mg descendió hasta la cosecha (Fig. 4.6). Desde el trasplante hasta la cosecha, se registró un promedio de la concentración de Mg con un valor de 0,26 %, lo cual se encuentra acorde con lo recomendado por Caldwell et al. (1994), quienes consideran adecuado un promedio de 0,24% para cebolla de bulbo 'Granex 33'. Los valores encontrados en el presente trabajo se encuentran en concordancia con los reportados por Haag et al. (1970), Bosch (1999), y Menezes Junior et al. (2013). Dada la alta movilidad del Mg en los tejidos de la planta, en el presente trabajo se observó un fuerte descenso de su contenido en las hojas, mientras que el descenso en los bulbos no fue tan drástico, lo cual denota la movilización del Mg desde las hojas hasta el bulbo, acorde con el poder vertedero de este órgano. Por estas razones, los cultivadores de cebolla de la región deben ser cuidadosos

con el manejo de las bases (Ca, Mg, K y Na), a fin de no causar antagonismo entre el Ca y el Mg como consecuencia del encalado, puesto que el Mg se necesita en altas cantidades desde el momento de trasplante hasta 45 días después. Tiempo bastante corto, así que debería motivarse entre los agricultores el uso de cales dolomitas para el encalado, y, en el caso de usar otro tipo de cales agrícolas, adicionar un suplemento que contenga Mg, preferiblemente al momento de la preparación del suelo, de manera que el Mg se haya solubilizado y se encuentre disponible en los primeros 45 DDT, cuando la demanda del elemento tiene una tendencia creciente.

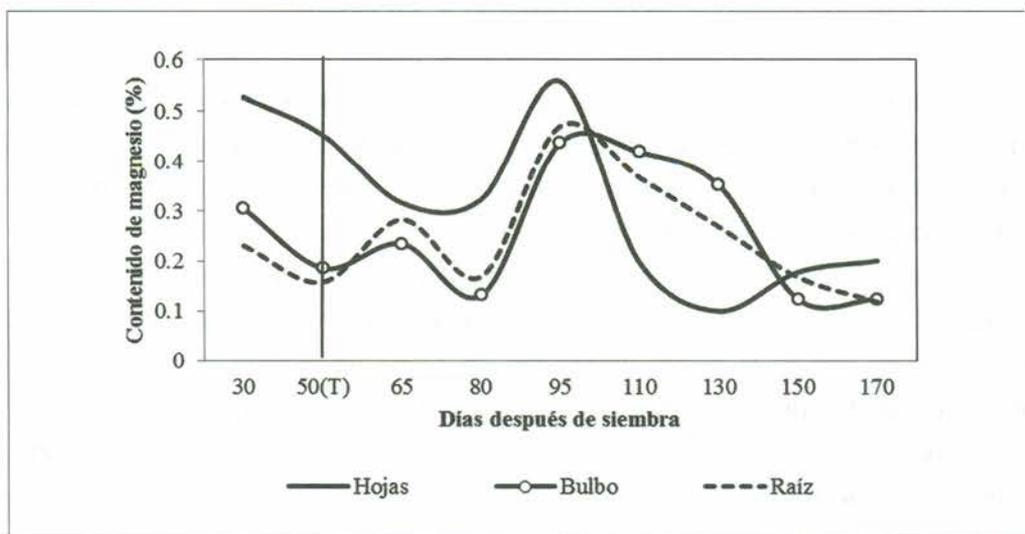


Figura 4.6. Contenido de magnesio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Acorde con el reporte de Marschner (1995), el Mg presenta una alta movilidad a través del floema, y el elemento, debido a su alta movilidad por el floema, solo se ve ligeramente afectado por la presión radical. El autor menciona también una relación del contenido del elemento en el floema/xilema con un valor de 3,1 ($104,3/33,8 \mu\text{g ml}^{-1}$). Se ha encontrado además que entre el 82 y el 100% de los elementos minerales que fluyen en la planta, se retraslocan de nuevo por el floema a las raíces, y una alta proporción del K y del Mg, por ejemplo, se carga de nuevo al xilema y se transporta a la parte aérea. A pesar de la alta movilidad del Mg en las plantas, la interrupción del suministro de Mg a las raíces de plantas jóvenes da como resultado un descenso más rápido de la concentración del elemento en las hojas jóvenes totalmente expandidas, que en las hojas más adultas.

Haag et al. (1970) encontraron que el contenido de Mg asciende en hojas y bulbos hasta los 85 DDE y después este valor presenta poca variación en las hojas, pero desciende en los bulbos hasta los 190 DDE. Entre 70 y 85 DDE, el contenido de Mg ascendió de 0,33 a 0,43% en hojas, mientras que en bulbos, el incremento fue de 0,21 a 0,43% en el mismo tiempo. Posteriormente las hojas presentaron 0,47% y los bulbos 0,17% de Mg a los 190 DDE. Por otra parte, Menezes Junior, Gonçalves & Kurtz (2013) reportan una extracción en kg de Mg ha⁻¹ en hojas de plantas de cebolla de bulbo entre 0,25 y 0,36 a los 48 DDT; entre 0,92 y 1,34 a los 68 DDT, y entre 3,36 y 5,11, a los 108 DDT. En los bulbos, la extracción de Mg estuvo en el rango de 1,97 y 3,65 kg ha⁻¹.

Vidigal et al. (2010) mencionan que al utilizar siembra directa, la acumulación máxima de Mg en plantas completas de cebolla fue de 20,68 µg planta⁻¹, con una tasa de absorción de 0,41 µg planta⁻¹ día⁻¹, mientras que en los bulbos, la máxima absorción alcanzó 8,14 µg planta⁻¹ con una tasa de absorción de 0,45 µg planta⁻¹ día⁻¹. Estos valores se registraron en la parte aérea, en los bulbos y en la planta completa a los 101 DDS. Además, cuando se utilizó el trasplante, la máxima absorción de Mg en la planta entera fue de 14,67 µg planta⁻¹ con una tasa de absorción de Mg de 1,0 µg planta⁻¹ día⁻¹. En los bulbos, la máxima absorción fue de 8,8 µg planta⁻¹ con una tasa de absorción de 2,41 µg planta⁻¹ día⁻¹. Estos valores fueron registrados a los 115 DDS en la planta completa, a los 122 DDS en el bulbo y a los 108 DDS, en la parte aérea.

Pôrto et al. (2007) encontraron que la mayor demanda de Mg en el híbrido de cebolla 'Superex', tuvo lugar entre 90 y 130 DDS. La parte aérea participó con el 44% del Mg total acumulado al final del ciclo (150 DDS), mientras que en el bulbo se encontró el 56% del Mg restante. La parte aérea presentó la mayor demanda entre 70 y 110 DDS, mientras que el bulbo demandó la mayor cantidad de Mg entre 110 y 115 DDS. Pôrto et al. (2006), en el híbrido 'Optima', apreciaron la mayor demanda de Mg entre 70 y 130 DDS, en donde la parte aérea acumuló el 52% del Mg total y el bulbo, el 48%. La mayor demanda de Mg por la parte aérea se presentó entre 70 y 110 DDS, mientras que en el bulbo se registró entre 90 y 130 DDS.

Contenido de hierro (Fe)

El contenido de Fe mostró un incremento en hojas y bulbos desde el momento del trasplante hasta mostrar su valor máximo a los 80 DDS en hojas (494,11 ppm), a los 95 DDS en bulbos (497,73 ppm) y 150 DDS en raíces (686,34 ppm). Posteriormente, los contenidos en los diferentes tejidos se redujeron hasta el momento de la cosecha (Fig. 4.7). De igual manera, Vidigal et al. (2010) y Menezes Junior et al. (2013) reportan contenidos elevados del elemento en los tejidos evaluados, y los momentos de la cosecha, en los que se registraron los máximos valores, son parcialmente concordantes con los encontrados en el presente trabajo. En el análisis de suelo, previo a la siembra, se registró un valor de Fe de 288 ppm, catalogado como muy alto; por tanto, la absorción del elemento estuvo en concordancia con su contenido en el suelo. No obstante, estos valores elevados del Fe en suelos y en tejidos vegetales son comunes de encontrar en los alfisoles del trópico alto. Sin embargo, esta es una situación que no es muy preocupante, dado que el pH del suelo fue de 5,7, que corresponde a moderadamente ácido, de manera que la disponibilidad del Fe es alta, pero este inconveniente puede superarse temporalmente mediante la aplicación de enmiendas al suelo, como materia orgánica y cales agrícolas, antes del trasplante.

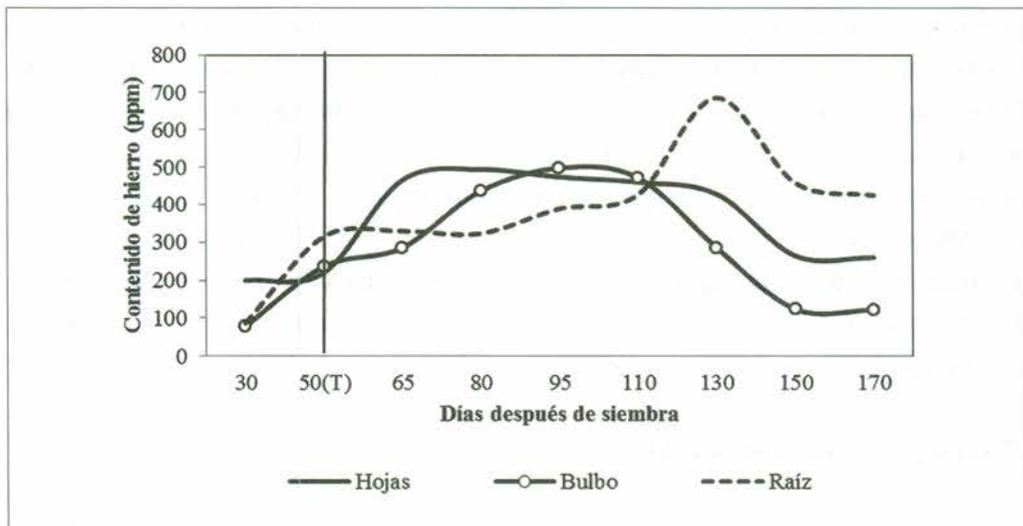


Figura 4.7. Contenido de hierro en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

El Fe presenta en las plantas una movilidad intermedia y se ha encontrado que la relación de su contenido en el floema/xilema es de 15,7 (9,4/0,60 $\mu\text{g ml}^{-1}$). El ciclaje de nutrientes minerales puede ser importante para compensar, al menos parcialmente, la distribución heterogénea de nutrientes minerales en la zona de las raíces, como en el caso del Zn, pero no en el caso del Fe. En general, el ciclaje (movilización y removilización) de los nutrientes minerales no debe ser considerado en todos los casos como un mecanismo específico de regulación para un nutriente en particular. En muchos casos, este bien podría ser la consecuencia del mecanismo y la dirección de transporte a través del floema, en donde predomina el transporte de azúcares a partir de las hojas, como órganos fuente, a las raíces, como órganos vertedero (Marschner, 1995).

Menezes Junior, Gonçalves y Kurtz (2013) determinaron en plantas de cebolla de bulbo cultivadas en Brasil, que la extracción de Fe por parte de las hojas, en kg de Fe ha^{-1} , estuvo en el rango entre 5,06 y 16,18 a los 48 DDT, entre 5,99 y 11,37 a los 68 DDT, y 23,99 y 255,06 a los 108 DDT. En los bulbos, al momento de la cosecha (148 DDT), la extracción de este elemento estuvo entre 508,14 y 2029,32 kg de Fe ha^{-1} . Por su parte, Vidigal et al. (2010), en plantas de cebolla cultivada en Brasil, reportaron que cuando hicieron siembra directa, la acumulación máxima de Fe en la planta entera alcanzó 1859,32 $\mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa de absorción de 38,03 $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que en bulbos estos valores fueron de 744,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y 38,03 $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. Estos valores fueron registrados a los 94 DDS en la planta entera y en la parte aérea, y a los 101 DDS, en los bulbos. Asimismo, cuando se hizo trasplante, la acumulación máxima de Fe en la planta entera fue de 2125,39 $\mu\text{g planta}^{-1}$, con una tasa de absorción de Fe de 130,42 $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En bulbos, estos valores alcanzaron 996,61 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y 100,5 $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los valores máximos de absorción de Fe se observaron a los 115 DDS en la planta entera y en el bulbo, y a los 108 DDS, en la parte aérea.

Contenido de manganeso (Mn)

La concentración de este nutriente fue creciente desde el momento del trasplante hasta los 110 DDS en hojas (395,79 ppm) y bulbos (290,57 ppm), y hasta los 130 DDS, en las raíces (320,8). Después de estos periodos de tiempo del cultivo, la concentración del elemento en los órganos presenta un leve descenso (Fig. 4.8).

El promedio de los valores de la concentración de Mn, desde el momento del trasplante hasta la cosecha, fue de 236,84 ppm. Esos valores superan con creces los reportados por Menezes Junior et al. (2013) y el promedio recomendado por Caldwell et al. (1994). Estos últimos consideran adecuado un promedio de 100,14 ppm de Mn para cebolla de bulbo. Además, tanto la tendencia de las curvas de acumulación de Mn como los valores reportados por Bosch (1999) difieren de los encontrados en el presente trabajo, pues Bosch (1999) notó que el contenido de Mn en las hojas desciende gradualmente desde 50 DDS hasta el momento de la cosecha, en los ocho materiales de cebolla de bulbo evaluados. Estas discrepancias se pueden justificar por la naturaleza de los suelos en el trópico alto, en relación con los suelos presentes en comparación con el suelo arenoso de Georgia (USA), que correspondía a un Ultisol, en el cual se desarrolló el trabajo de Caldwell et al. (1994), mientras que en el caso del presente trabajo, el suelo correspondió a un Alfisol.

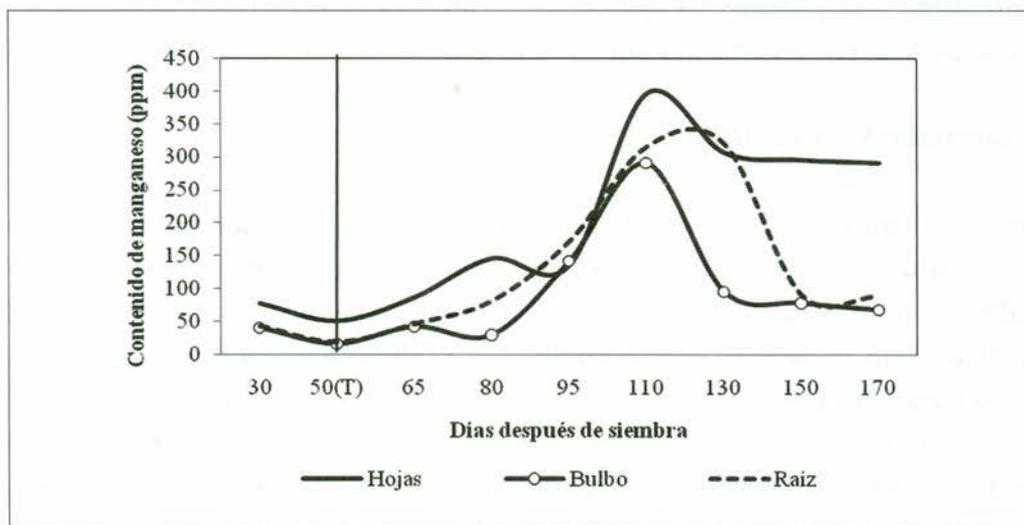


Figura 4.8. Contenido de manganeso en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

El Mn presenta una movilidad muy baja en la planta y se ha encontrado una relación de concentración de Mn en el floema/xilema, de 3,8 ($0,87/0,23 \mu\text{g ml}^{-1}$). La tasa de transpiración puede afectar el transporte de Mn en algunas plantas, puesto que se ha visto que hojas expuestas al sol, con alta tasa de transpiración, presentan mayores contenidos de Mn que hojas expuestas a la sombra, las cuales presentan baja transpiración (Marschner, 1995).

En plantas de cebolla de bulbo cultivadas en Brasil, Menezes Junior et al. (2013) reportan una extracción, en kg Mn ha⁻¹ en el rango entre 3,13 a 5,24 a los 48 DDT; entre 9,97 y 22,73 a los 68 DDT; y entre 20,49 y 43,11 a los 108 DDT. En los bulbos, a los 146 DDT, momento en que se realizó la cosecha, la extracción estuvo entre 25,36 y 109,65 kg de Mn ha⁻¹. Vidigal et al. (2010) reportaron que cuando hicieron siembra directa, la máxima absorción de Mn en plantas completas de cebolla fue de 815,11 µg planta⁻¹, con una tasa de absorción de Mn de 66,07 µg planta⁻¹ día⁻¹. En bulbos, la máxima absorción de ese nutriente fue de 270,17 µg planta⁻¹ y la tasa de absorción fue de 22,8 µg planta⁻¹ día⁻¹. Estos valores se presentaron a los 87 DDS en plantas enteras y en la parte aérea, y a los 101 DDS en los bulbos. Por otra parte, cuando hicieron trasplante, la máxima absorción de Mn fue de 1060,79 µg planta⁻¹ en plantas enteras, con una tasa de absorción del elemento de 99,3 µg planta⁻¹ día⁻¹. En bulbos, la acumulación máxima de Mn fue de 435,01 µg planta⁻¹ con una tasa de absorción de 178,68 µg Mn planta⁻¹ día⁻¹, valores que se registraron a los 115 DDS en plantas completas, en la parte aérea y en los bulbos.

Contenido de cinc (Zn)

Este elemento presentó una dinámica variable, con un valor máximo de su contenido en hojas y bulbos de 393,69 y 415,24 ppm, respectivamente, a los 95 DDS. En raíces se presentó una tendencia ascendente durante todo el ciclo del cultivo, hasta alcanzar su valor máximo (343,32 ppm) al momento de la cosecha (170 DDS) (Fig 4.9). Caldwell et al. (1994) manifiestan como adecuado un valor de 30,21 ppm en plantas de cebolla de bulbo. Por su parte, Bosch (1999), al evaluar ocho materiales de cebolla de bulbo, encontró valores relativamente estables, que fluctuaban en un rango aproximado de 10 a 30 ppm. Al comparar estos resultados con el análisis de suelo previo al cultivo, en el presente trabajo, se registraron 19,1 ppm de Zn, lo que corresponde a un valor muy alto, lo cual pudo ser la causa de los contenidos altos de Zn en los tejidos vegetales. A pesar de los valores tan altos encontrados en los tejidos, no se evidenciaron síntomas de toxicidad por este elemento.

El Zn presenta una movilidad intermedia en el floema de las plantas, con una relación de contenido en el floema/xilema de 10,8 (15,9/1,47 µg ml⁻¹). A pesar

de la moderada movilidad por el floema de los micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mo y B, la deficiencia de estos elementos durante el crecimiento vegetativo aparece primero en las hojas jóvenes y el ápice de la parte aérea. Estos vertederos vegetativos del crecimiento, obviamente, carecen de la capacidad para producir una señal lo suficientemente fuerte como para inducir la senescencia de las hojas y, lograr así, una mayor movilización de estos nutrientes minerales dentro de las células de las hojas (Marschner, 1995).

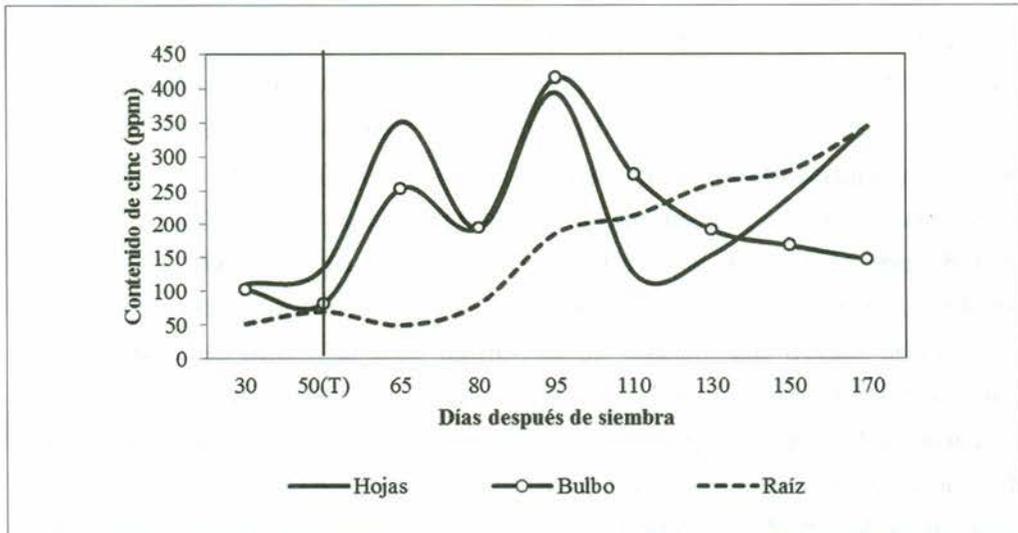


Figura 4.9. Contenido de cinc en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Menezes Junior et al. (2013) mencionan una extracción de Zn en plantas de cebolla en el rango de 1,39 y 18,41 g ha⁻¹ entre 48 y 148 DDT, cuando utilizaron diferentes fuentes minerales y orgánicas para la fertilización del cultivo en las condiciones de Brasil. Por su parte, Vidigal et al. (2010) reportaron que con siembra directa, la acumulación máxima de Zn en las plantas enteras de cebolla de bulbo fue de 182,48 µg planta⁻¹, con una tasa máxima de absorción de 14,02 µg planta⁻¹ día⁻¹. Estos valores se registraron a los 94 DDS en plantas enteras y en bulbos, y a los 101 DDS en la parte aérea de las plantas. Igualmente, cuando estos autores utilizaron el trasplante, encontraron que las plantas completas de cebolla presentaron una acumulación máxima de 467,76 µg planta⁻¹, con una tasa de acumulación de 35,73 µg planta⁻¹ día⁻¹; y en los bulbos estos valores fueron de 394,40 µg planta⁻¹ para la acumulación máxima, con una tasa de acumulación de

112,11 $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Estos valores se manifestaron a los 115 DDS en plantas completas y en los bulbos, y a los 101 DDS, en la parte aérea. De esta manera, los autores determinaron que la acumulación del Zn fue creciente durante casi todo el ciclo del cultivo.

Contenido de sodio (Na)

En las hojas, la tendencia de la concentración de Na fue descendente desde el momento del trasplante hasta la cosecha, de igual manera en los bulbos, con un leve incremento a los 110 DDS, para descender de nuevo; sin embargo, en las raíces, el contenido de Na fue fluctuante. Los máximos valores del contenido de Na en hojas y bulbos se presentaron a los 30 DDS (472,85 y 294,46 ppm, respectivamente), lo cual sucedió previo al trasplante, y a los 130 DDS en raíces (418,8 ppm) (Fig. 4.10). El contenido de Na en el suelo, previo a la siembra, mostró valores normales ($0,51 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$), así que la información registrada se encontraría dentro del margen de lo normal para la región de estudio, dado que no existen muchos referentes, puesto que este elemento no aparece en la mayoría de los reportes previos en cebolla. El contenido de Na presentó una dinámica y valores diferentes a los encontrados por Bosch (1999) en algunas de las variedades de cebolla de bulbo evaluadas, puesto que en su trabajo, el contenido de Na se incrementó en cuatro de los materiales evaluados y disminuyó en las hojas de dos de ellos. De esta manera, se puede inferir que la toma y la dinámica del Na es dependiente del cultivar de cebolla y, por tanto, se deben tomar como referente, los trabajos realizados en las condiciones locales y con los materiales utilizados comúnmente en la zona de estudio. Sin embargo, se debe ir más allá de la simple interpretación del contenido de Na en los tejidos, puesto que este elemento interactúa con las demás bases en una relación antagónica, lo cual se analizará en un capítulo posterior.

Para la mayoría de las plantas, el Na no es esencial, sin embargo, en la mayoría de ellas, se puede estimular el crecimiento con bajas concentraciones del elemento (Marschner, 1995). La movilidad del Na a través del floema es alta, y se han encontrado valores de la concentración del elemento en la relación floema/xilema, de 2,5 ($116,3/46,2 \mu\text{g ml}^{-1}$). El efecto de la transpiración sobre la movilización del K es insignificante en relación con el Na. Esta situación

corresponde a diferencias en las isothermas de absorción de ambos elementos en concentraciones externas crecientes. También se menciona que el Na no se moviliza al ápice de la parte aérea, puesto que su transporte es exclusivamente basípeto hacia las raíces, en donde se confina en la porción basal de estas. Esto refleja el papel del transporte por el floema en el ciclaje de elementos minerales y particularmente en la prevención de la acumulación de Na en la parte aérea de las especies de plantas natrofóbicas.

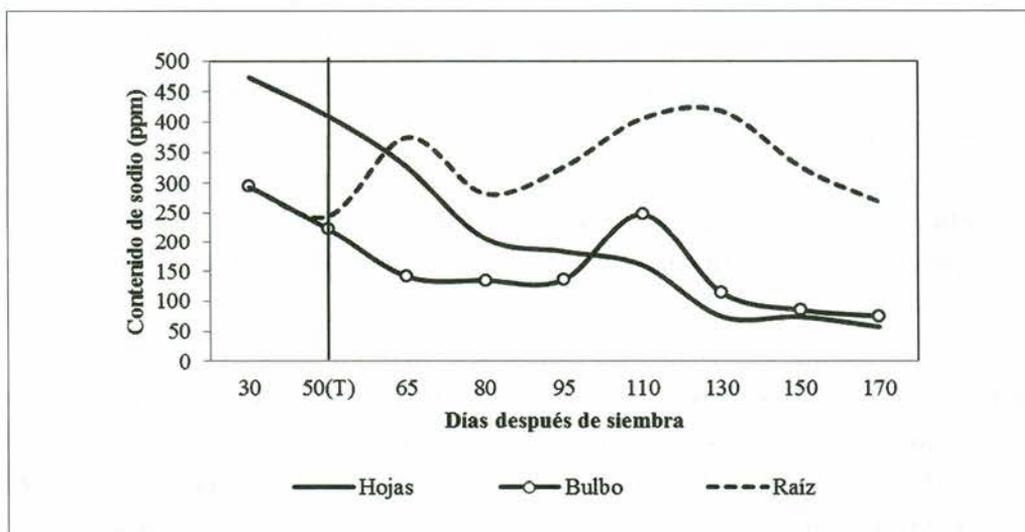


Figura 4.10. Contenido de sodio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

Chope & Terry (2009) encontraron marcadas diferencias en el contenido de Na en bulbos de cebolla de los cultivares 'Renate Ailsa', 'Craig' y 'SS1', los cuales presentaron concentraciones de Na que alcanzaron valores de 14,57; 5,19 y 3,84 mg Na 100g⁻¹, respectivamente. De igual manera, estos valores comparados con los reportados en otros cultivares de cebolla de bulbo, difieren ampliamente. Por su parte, Bosch (1999) menciona que los contenidos de Na en el bulbo en cebolla 'Valencia de grano' alcanzaron casi la décima parte de la concentración de Mg. Además, en las hojas, el contenido de Na en los cultivares de cebolla 'Valencia de grano', 'Staro' y 'S.W.G.' se incrementaron con el desarrollo de las plantas con valores mínimos de 320 y máximos de 850 ppm. En estos cultivares, el Na en los bulbos presentó una tendencia decreciente en la medida que avanzaba el ciclo del cultivo, con valores mínimos de 90 y máximos de 520 ppm.

Al final del ciclo, el Na no se movilizó de las hojas al bulbo, pues, a pesar de una alta concentración de Na en las hojas de unos cultivares en relación con otros, se registraron contenidos de Na en los bulbos en valores bastante similares en todos los cultivares.

Referencias

- Agudelo-Becerra, M. Y. & Casierra Posada, F. (2004). Efecto de la micorriza y gallinaza sobre la producción y la calidad de cebolla cabezona (*Allium cepa* L. 'Yellow Granex'). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 57(1), 2189 - 2202.
- Boaretto, A. E. & Muraoka, T. (1989). Absorção e translocação de fósforo (^{32}P) aplicado via foliar em cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Científica* 2, 35-42.
- Bosch, A. D. (1999). *Bases ecofisiológicas de la producción de la cebolla (Allium cepa, L.): aportaciones para la mejora de las técnicas de cultivo en el Pla d'Urgell (Lleida)*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/8228>.
- Brewster, J. L. (1994). *Onions and other vegetable Alliums*. Wallingford, UK: CAB International. 236p.
- Caldwell, J. O., Sumner, M. E. & Vavrina, C. S. (1994). Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *Hortscience* 29(12), 1501-1504.
- Chope, G.A. & Terry, L.A. (2009). Use of canonical variate analysis to differentiate onion cultivars by mineral content as measured by ICP-AES. *Food Chemistry* 115, 1108-1113.
- De Visser, C.L.M. (1998). Effects of split application of nitrogen on yield and nitrogen recovery of spring-sown onions and on residual nitrogen. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 73(3), 403-411.

-
- Faquin, V. (1994). *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: ESAL/FAEPE. 227p.
- Ferreira, M.E., Castellane, P.D. & Cruz, M.C.P. (1993). *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: Potafos. 480p.
- Ghaffoor, A., Jilani, M.S., Khaliq G. & K. Waseem. (2003). Effect of different NPK levels on the growth and yield of three onion (*Allium cepa*. L) cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences* 2(3), 342-346.
- Haag, H.P., Home, P. & Kimoto, T. (1970). Nutrição mineral de hortaliças: Absorção de nutrientes pela cultura da cebola. *Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz, Piracicaba* 27, 143-153.
- Islam, M.K., Alam, M.F. & Islam, A.K.M.R. (2007). Growth and yield response of onion (*Allium cepa* L.) genotypes to different levels of fertilizers. *Bangladesh Journal of Botany* 36(1), 33-38.
- Jilani, M.S., Ghaffoor, A., Waseem, K. & Farooqi, J.I. (2004). Effect of different levels of nitrogen on growth and yield of three onion varieties. *International Journal of Agriculture and Biology* 6(3), 507-510.
- Khan, H., Iqbal, M., Ghaffoor, A. & Waseem, K. (2002). Effect of various plant spacing and different Nitrogen levels on the growth and yield of onion. *Online Journal of Biological Sciences* 2, 545-547.
- Malavolta, E. (1980). *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo/SP: Agronômica Ceres. 215 p.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 638 p.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd edition). London, UK: Academic Press. 889 p.

-
- Menezes Júnior, F.O.G., Gonçalves, P.A.S. y Kurtz, C. (2013). Biomassa e extração de nutrientes da cebola sob adubação orgânica e biofertilizantes. *Horticultura Brasileira*, 31, 642-648.
- Muthuramalingam, S., Kumaran, S.S., Muthuvel, I. y Sathiyamurthy, V.A. (2002). Influence of plant densities and applied nutrients on uptake of NPK in seed propagated Aggregatum onion (*Allium cepa* L. var Aggregatum) Gnanamedu local type. *Crop Research Hisar*, 23(3), 481-485.
- Nandi, R.K., Deb, M., Maity, T.K. & Sounda, G. (2002). Response of onion to different levels of irrigation and fertilizer. *Crop Research Hisar*, 23(2), 317-320.
- Nasreen, S., Haq, S. M. I. & Hossain, M. A. (2003). Sulphur effects on growth responses and yield of onion. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2, 897-902.
- Pandey, U. E. & Ekpo, U. (1991). Response of N on the growth and yield of onion. *Gujrat Agriculture University*, 15, 1-5.
- Pang, P. C. & Kolenko, K. (1986). Phosphomonoesterase activity in forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 18, 35-40.
- Pôrto, D.R.Q., Cecílio Filho, A.B., May, A. & Barbosa, J.C. (2006). Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Optima" estabelecida por semeadura direta. *Horticultura Brasileira, Brasília*, 24(4), 470-475.
- Pôrto, D.R.Q., Cecílio Filho, A.B.; May, A. & Vargas, P.F. (2007). Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. *Ciência Rural, Santa Maria*, 37(4), 949-955.
- Patel, J.J. & Patel, A.T. (1990). Effect of nitrogen on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) cultivar Pusa Red. *Gujarat Agricultural University Research Journal*, 15, 1-5.

-
- Rahn, C.R., Shepherd, M.A. & Hiron, R.W.P. (1996). The effect of water supply on the response of onions and calabres to starter solutions. *Acta Horticulturae*, 428, 141-150.
- Rana, D.S. & Sharma, R.P. (1994). Effect of irrigation regime and nitrogen fertilization on bulb yield and water use of onion. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 64, 223-226.
- Resende, G.M., Costa, N.D. & Pinto, J.M. (2008). Produtividade e qualidade pós-colheita de cebola adubada com doses crescentes de nitrogênio e potássio. *Horticultura Brasileira*, 26, 388-392.
- Singh, D.K., Lal, G., Rai, P.N. & Lal, G. (1994). Response to nitrogen on yield and keeping quality of onion bulbs. *Annals of Agricultural Research*, 15(4), 407-409.
- Taiz, L. & Zeiger, E.E. (2010). *Plant Physiology* (5 ed.). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers. 782p.
- Valenzuela, H. & Kratky, B. (1999). Soils and soil fertility management for onion production. In R. Hamasaki, H. Valenzuela & Shimabuku, R. (eds). *Bulb onion production in Hawaii* (p. 9-14). Hawaii: College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Vidigal, S.M., Moreira, M.A. & Pereira, P.R.G. (2010). Crescimento e absorção de nutrientes pela planta cebola cultivada no verão por semeadura direta e por transplântio de mudas. *Bioscience Journal*, 26(1), 59-70.
- Vidigal, S.M., Pereira, P.R.G. & Pacheco, D.D. (2002). Nutrição mineral e adubação da cebola. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, 23(218), 36-50.

CAPÍTULO CINCO

Dinámica de las relaciones nutricionales: antagonismos y sinergismos

Hay que aclarar que en los cultivos no se deben tener en cuenta solo los elementos por sus cantidades sino más bien por su equilibrio. Esto es, la planta requiere una fertilización completa y bien equilibrada, al igual que todos los seres vivos. Usualmente, la interpretación de un resultado de análisis foliar consiste en la comparación de los valores observados con otros presentados en tablas de referencia, que, en la mayoría de los casos, están fundamentadas en un desarrollo óptimo del cultivo y en un determinado estado fenológico, conocido como *método del valor crítico o rango de suficiencia*. Últimamente se ha trabajado con base en las interacciones iónicas que tienen lugar cuando el suministro de un nutriente afecta la absorción, distribución o función de algún otro, lo que determina el antagonismo o sinergismo entre elementos nutritivos. Un sinergismo consiste en que el aumento en el contenido o absorción de un elemento favorece la absorción de otro, mientras que en el antagonismo sucede lo contrario.

El crecimiento de las plantas depende, en gran medida, de la oferta de nutrientes inorgánicos. Normalmente, las plantas se exponen a niveles de nutrientes que varían ampliamente en el tiempo y el espacio. Para hacer frente a tales ambientes cambiantes, las plantas han desarrollado altos niveles de plasticidad tanto individualmente, como también, entre especies y ecotipos. Sin embargo, las concentraciones extremas de nutrientes causan deficiencia o toxicidad en distinta medida para diferentes plantas y especies (Maathuis & Amtmann, 1999). Se ha calculado una gran cantidad de interacciones representadas en antagonismos y sinergismos, entre los elementos minerales que afectan considerablemente el contenido crítico de un elemento específico en los vegetales (Casierra Posada, Lizarazo & Andrade Filho, 2004). Por su parte, Marschner (1995) anota que las interacciones entre dos elementos minerales son importantes cuando el contenido

de cada uno se encuentra cerca del rango de deficiencia. Cuando se adiciona uno de los elementos de la relación, se puede estimular el crecimiento de la planta; sin embargo, es posible también inducir deficiencia del otro elemento por efecto de dilución. Se menciona además, que el ritmo máximo de crecimiento en los vegetales tiene lugar cuando coinciden los niveles nutricionales óptimos con el balance entre los nutrientes, según Faust (1989).

Existen básicamente dos tipos de interacciones entre nutrientes. El sinergismo es un efecto positivo entre los nutrientes, mientras que el antagonismo es un efecto negativo entre estos. Cuando dos o más elementos trabajan juntos y causan una mejora global del estado fisiológico de la planta, se conoce como *sinergismo fisiológico*, mientras que, cuando el exceso de un elemento nutritivo reduce de la absorción de otro, se le conoce como *antagonismo fisiológico*. Estas interacciones dependerán del tipo de suelo, de las propiedades físicas, del pH, de la temperatura ambiente y de la proporción de nutrientes participantes en la relación. Hay un proceso altamente controlado de selectividad involucrado en la toma de nutrientes en las plantas y es la razón por la cual la planta no presenta la misma proporción de nutrientes que se encuentra en el suelo (Malvi, 2011).

En el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (Diagnosis and recommendation Integrated System - DRIS) se listan los contenidos de nutrientes en relaciones (N/P, P/N, N/K, K/N, etc.), de esta manera, dada la relación antagónica o sinérgica que existe entre los elementos involucrados en la relación, se resuelve el problema de la acumulación de biomasa y la reducción en la concentración de nutrientes en plantas, que varían con la edad de las plantas. El uso del DRIS en el concepto de equilibrio nutricional de una planta se está convirtiendo en un método eficiente para evaluar el estado nutricional de las plantas. Este método muestra el rango de los nutrientes con base en la demanda de la planta, lo que permite un equilibrio nutricional del elemento, fundamentado en una muestra foliar (Serra et al., 2013). Con el uso del DRIS se soluciona el problema de la concentración o dilución de los nutrientes en plantas, puesto que, acorde con Beauflis (1973) y Walworth y Sumner (1987), con el crecimiento del tejido foliar, por una parte, se reducen los contenidos N, P, K y S en las plantas adultas, y, por otra, las concentraciones de Ca y Mg se incrementan en estas hojas. Con el uso del DRIS, el cual involucra las relaciones entre nutrientes, los

valores de estos cocientes permanecen constantes, minimizando el efecto de la acumulación de biomasa, la cual es uno de los mayores problemas cuando se usa el rango de valores críticos y los niveles de suficiencia (Serra et al., 2013).

El diagnóstico nutricional en plantas sería, por tanto, una herramienta complementaria para la recomendación de las necesidades nutricionales de las plantas cultivadas. Sin embargo, no es posible desconocer el uso del análisis de suelos, debido a que es esencial para comprobar la evolución de la fertilidad del suelo, y la capacidad de suministrar los nutrientes (Wadt, 1996).

Relaciones antagónicas

Relación N/P

Durante todo el ciclo de crecimiento de las plantas, esta relación presentó valores entre 7,44 y 41,64 en las hojas, con un incremento a los 95 DDS, como consecuencia de la segunda aplicación de fertilizantes realizada a los 88 DDS. De esto se puede inferir que en relación con el P, el N fue más fácilmente tomado y trasladado a las hojas en este estado de desarrollo de las plantas. En los bulbos fue más estable que en las hojas, con valores entre 5,50 y 10,78, mientras que en las raíces se encontró un descenso a partir del momento del trasplante (50 DDS) hasta el momento de la cosecha, con valores que oscilaron entre 34,81 y 6,16 (Fig. 5.1). Greenwood et al. (2008) encontraron, en promedio, un valor para la relación N/P de 7,2, en plantas completas (con excepción de las raíces fibrosas) de cultivos olerícolas, entre los que se encontraba la cebolla de bulbo. Para el caso específico de cebolla de bulbo, estos autores encontraron un valor de la relación N/P de 14,48, en promedio. Por su parte, Kerkhoff y Enquist (2006) establecieron que el valor de la relación N/P fue aproximadamente el mismo en varios grupos de plantas ($N/P = 11$), y en una amplia gama de pesos de plantas, mientras que en otro estudio se encontró que el valor de esta relación fue mayor en las hojas que en los tallos y en las raíces de algunos cultivos forrajeros; lo que implica que la relación N/P disminuye con un aumento en la masa de la planta (Kerkhoff, Fagan, Elser & Enquist, 2006). En el caso del presente trabajo, el análisis de suelo (Anexo A) reveló que el N, representado en el contenido de materia orgánica (MO), estaba en el rango normal (5,8% MO), mientras que el P era

bajo (27,13 ppm). Por lo tanto, se considera que la dinámica de la relación N/P presentó un comportamiento aceptable en los órganos estudiados, de manera que por antagonismo de los dos elementos, no se indujera deficiencia de alguno de ellos que afectara el buen desarrollo de las plantas de cebolla de bulbo.

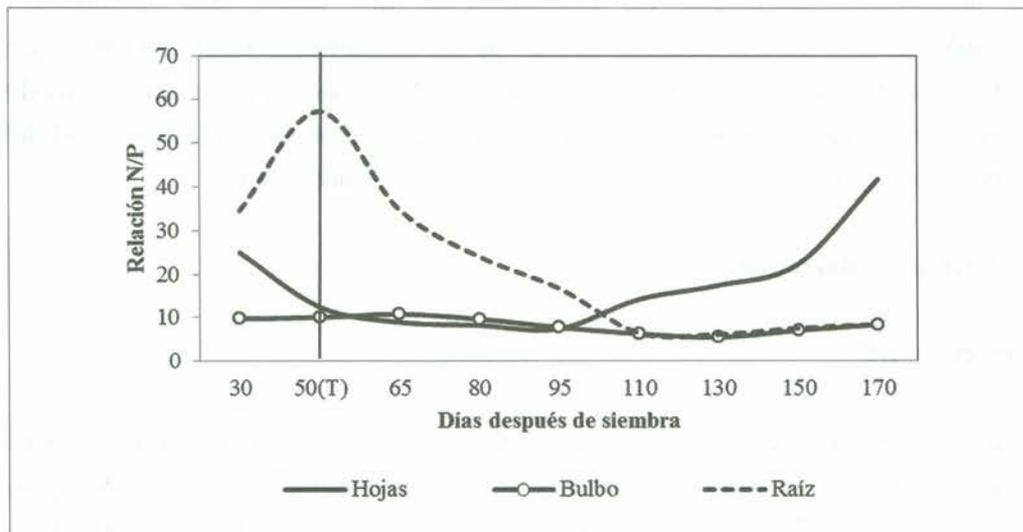


Figura 5.1. Relación N/P registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Por su parte, Caldwell, Sumner & Vavrina (1994) presentan una relación P/N (%/%) con un valor normal de 0,10, en lugar de la relación N/P, analizada en el presente estudio. Al hacer los cálculos de la relación P/N, con la información registrada en el presente trabajo, desde el momento de semillero hasta la cosecha, se encontraron valores promedio de 0,07 en hojas, 0,12 en bulbos y 0,08 en raíces, los cuales se consideran entorno al valor normal mencionado por Caldwell et al. (1994).

El hecho de entender los cambios en la relación N/P durante el crecimiento vegetal y el desarrollo de modelos, podría ayudar a resolver problemas importantes en las plantas cultivadas (Sadras, 2006). En el contexto de la producción agrícola, a pesar de que se han realizado numerosas mediciones en las concentraciones de N y P en las hojas para el diagnóstico de las deficiencias, no está claro aún hasta qué punto las diferencias en las concentraciones del 'óptimo' estimadas, son el resultado de un error experimental, de diferencias en la edad y la masa

de la planta, de la posición de la hoja o las diferencias entre los diferentes materiales vegetales. Además, la incertidumbre en cuanto a los cambios en la relación N/P de la biomasa del cultivo durante el crecimiento, ha demostrado ser un grave problema en la simulación de los efectos interactivos del N y el P en el crecimiento de los cultivos (Zhang, Greenwood, White & Burns, 2007). Es necesario, por tanto, el desarrollo de un modelo con un sólido referente teórico para explicar algunas de las dudas en las concentraciones de nutrientes óptimos estimados y así contribuir a un uso más eficaz de los nutrientes agregados. Dicho modelo también puede ser útil para detectar el daño atmosférico causado por la deposición del N en ecosistemas naturales (Güsewell, 2005), y para establecer los efectos del desequilibrio de los nutrientes en la vegetación natural (Güsewell, 2004).

Relación Mg/K

La relación Mg/K presentó en la planta una dinámica variable a lo largo del ciclo del cultivo. En las hojas, los valores de esa relación variaron en el rango de 0,03-0,11. En los bulbos, su variación estuvo entre 0,03-0,09 (%/%), mientras que en las raíces, los valores oscilaron entre 0,05-0,19 (%/%), con valores promedio de 0,072; 0,078 y 0,12, respectivamente (Fig. 5.2). El incremento en el valor de esta relación registrado a los 95 DDS se debió a la segunda aplicación de fertilizantes, en la cual se adicionó N, P y especialmente K. De hecho el Mg y el K presentan una relación antagónica, sin embargo, existe una relación sinérgica entre el Mg y el anión NO_3^- ; la cual pudo ser la responsable del incremento en el valor de la relación Mg/K registrada en bulbos y raíces a los 95 DDS. Al respecto, Caldwell et al. (1994) reportan un valor normal de 0,09 (%/%) para esta relación, así que, los valores encontrados en el presente trabajo se ajustan a la recomendación de los autores citados (Caldwell et al., 1994). En el presente trabajo, mientras el contenido de Mg en el suelo era óptimo ($2,03 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$), el K se encontraba en un nivel alto ($1,29 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$) (Anexo A). Por tanto, no obstante estos niveles en el suelo, que bien hubieran podido causar un desequilibrio en la relación Mg/K, los valores encontrados para esta relación en la planta, se encontraban alrededor de los niveles normales, probablemente dado que en la planta tiene lugar una enorme serie de interacciones entre los elementos, de los cuales se vale el vegetal para mantener su homeostasis.

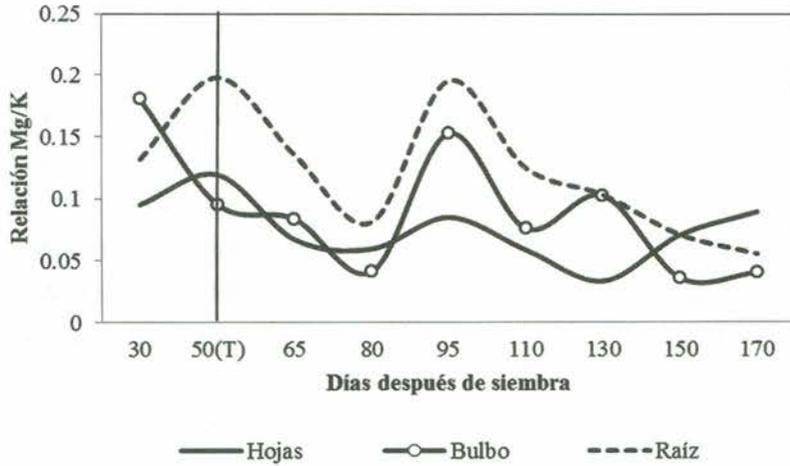


Figura 5.2. Relación Mg/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El Mg cumple funciones específicas en los vegetales, dado que participa en 250 a 400 procesos fisiológicos y, por tanto, no podría ser reemplazado por otro elemento, incluso por aquellos que presentan propiedades fisicoquímicas similares tales como el Co^{2+} , el Mn^{2+} o el Ni^{2+} (Kleiber, Golcz & Krzesiński, 2012). Se estima que de 75-80% de Mg en las plantas sirve como cofactor en procesos enzimáticos, vinculado, entre otros, a la fosforilación y defosforilación, así como también, a la hidrólisis de diferentes compuestos, y, además, estabiliza la estructura de varios nucleótidos (Barker & Pilbeam, 2007). Kleiber et al. (2012) encontraron un incremento en los contenidos de Mg tanto en hojas como en bulbos de plantas de cebolla, cuando fertilizaron con una dosis de 150 mg dm^{-3} de suelo, mientras que una dosis de 200 mg dm^{-3} tuvo como consecuencia una reducción en el contenido de Mg en los dos órganos mencionados. Además, en promedio, las hojas acumularon 2,5 veces más Mg que los bulbos.

En relación con el efecto del K en plantas de cebolla de bulbo, se ha encontrado que el sulfato de potasio (K_2SO_4) tuvo un mejor efecto que el cloruro de potasio (KCl), en cuanto al incremento de la producción, al igual que el fraccionamiento de la fuente de K en tres aplicaciones (Singh & Verma, 2001). Por otro lado, Al-Moshileh, (2001) no encontró un efecto positivo sobre el rendimiento cuando aplicó dosis de $0-150 \text{ kg de K ha}^{-1}$. En China, Xi Sheng, Liu y Wang (1999) lograron

incrementar el rendimiento de cebolla con aplicaciones de K superiores a 240 kg ha⁻¹, y el contenido de azúcares se redujo en los bulbos cuando se usaron las dosis más bajas. En Egipto, aplicaciones de potasio entre 0-184 kg ha⁻¹, indicaron que en suelos arenosos se incrementó la producción por encima de 123 kg ha⁻¹, pero en suelos arcillosos, la producción se incrementó solo por encima de la del control, pero no hubo diferencia entre las dosis de K aplicadas, en cuanto al incremento del rendimiento (Abo-Zeid & Farghali, 1996).

Relación K/Na

En hojas y en bulbos, el valor de esta relación presentó una tendencia ascendente en la medida que avanzaba el ciclo del cultivo, con valores que oscilaban entre 92,6 - 400,3, y 57,52 - 402,95, respectivamente, mientras que en las raíces, esta relación fue más estable que en los demás órganos analizados, con valores que se encontraban entre 32,52 y 78,83 (Fig. 5.3). Los incrementos en el valor de esta relación encontrados en bulbos y hojas, a partir de 95 DDS, se debieron al efecto de la aplicación de cloruro de potasio en la segunda fertilización, realizada a los 88 DDS, con la cual se incrementó la toma de K en estos tejidos, lo que disminuyó, por antagonismo, la toma y traslocación del Na. Al respecto, Maathuis y Amtmann (1999) mencionan que una relación K/Na alrededor de la unidad, presenta un valor aceptable en plantas. Además, como referente, se ha encontrado que el valor de esta relación en agua de mar es de 0,02. Por otra parte, era de esperarse la dinámica de los valores de la relación en cuestión durante el ciclo del cultivo, puesto que en el suelo, el Na se encontraba en valores normales (0,51 cmol⁺ kg⁻¹), mientras que el K estaba alto (1,29 cmol⁺ kg⁻¹); por tanto, dado el comportamiento de la relación K/Na en la planta y los valores encontrados para los contenidos de K y el Na en el suelo, no existía riesgo de salinidad, además, la conductividad eléctrica en el suelo fue de 0,77 dS m⁻¹. A pesar de estos referentes, se analizó esta relación para los interesados en el cultivo de cebolla de la región, ya que ha habido reportes de condiciones de conductividad eléctrica alta en el 58% de un área estudiada en la región del Alto Chicamocha (Boyacá, Colombia), con base en un área muestreada de 8.016 has (Castro, Cely & Vásquez, 2009).

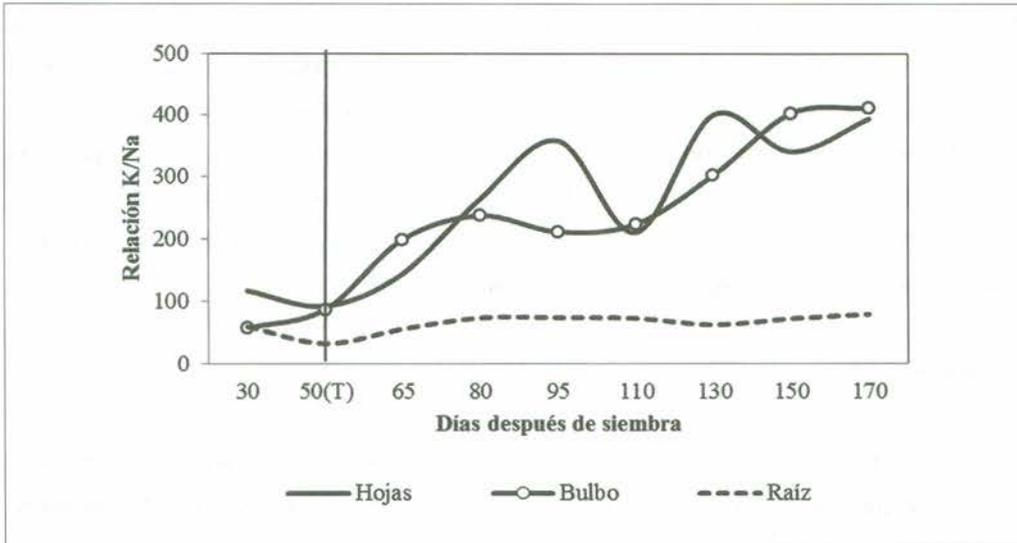


Figura 5.3. Relación K/Na registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

La capacidad de las plantas para mantener una alta relación citosólica K/Na, probablemente es uno de los principales determinantes de la tolerancia de las plantas a la salinidad. Aunque la disponibilidad de Na como regulador osmótico generalmente benéfico para la planta, un exceso de iones de Na sobre el contenido de K no es favorable, por varias razones. En primer lugar, la estructura fisicoquímica del Na y el K son similares, lo que significa que la competencia del Na por los sitios de transporte para el K en el simplasto puede resultar en deficiencias de K. En segundo lugar, el Na citoplasmático compite por sitios de unión del K y por tanto inhibe los procesos metabólicos que dependerían de la dinámica del K. El Na en el citosol tiene que ser restringido mediante el impedimento de la entrada de Na y/o a través de un sistema eficiente para el flujo de Na hacia la vacuola o al apoplasto (Maathuis & Amtmann, 1999). Por consiguiente, uno de los elementos clave en la tolerancia de las plantas a la salinidad es la capacidad para mantener una alta relación citosólica K/Na (Yeo, 1998). Las plantas en desarrollo que presentan una relación parte aérea/raíz superior a la unidad, traslocan más hacia la parte aérea, que el K que entra al simplasto de la raíz (Maathuis & Amtmann, 1999).

En los casos en que los suelos presentan condiciones de alta salinidad, el suministro de agua a las plantas se ve seriamente comprometido (Casierra Posada

& Hernández, 2006), y es así como el sistema de conducción hidráulica en las plantas que crecen en estos ambientes también cambia en función de la oferta ambiental. El Na representa una porción importante entre los elementos de las plantas que crecen en condiciones de suelos salinos y salinos sódicos, y es un elemento indeseable para el normal desarrollo de plantas glicófitas, puesto que no solo causa estrés hídrico, sino que también produce serios disturbios en la relaciones con otros nutrientes. El K se requiere para llevar a cabo reacciones enzimáticas, así como también para mantener la turgencia celular (Zhong & Lauchli, 1994). Por otra parte, la acumulación de Na en los órganos del filopiano puede actuar como un osmorregulador. De esta manera, las plantas incrementan su tamaño como consecuencia de un mayor contenido de agua en las células (Hiroshi & Boyer, 1989).

La toma y la distribución de los iones de Na están vinculadas en gran medida con el efecto del K, puesto que el flujo del Na en la corteza de la raíz se estimula con la entrada de K, lo cual está relacionado con la selectividad de la raíz según la relación K/Na. La tolerancia a la salinidad se relaciona con un incremento en la selectividad K/Na y se ha reportado que el género *Triticum* expresa un rango de variación genética relacionada con la discriminación K/Na. En contraste con las dicotiledóneas, en las plantas monocotiledóneas, el hecho de mantener una relación Na/K baja en los órganos de la parte aérea, es de gran importancia, debido a su baja capacidad de almacenamiento de Na, a su alto requerimiento de K y a los solutos orgánicos compatibles (Dajik, 2006).

Relación Na/Ca

En las hojas, el valor de esta relación se redujo desde el momento del trasplante hasta la cosecha, con un valor máximo de 0,017 al momento del trasplante (50 DDS) y mínimo al momento de la cosecha (170 DDS), de 0,003. En bulbos y raíces, después del trasplante, los valores de este cociente fueron más estables que en las hojas, con valores en los rangos de 0,003–0,009, y 0,016–0,019 (Fig. 5.4). Los valores hallados indican que las plantas no fueron afectadas por la salinidad, puesto que Cramer (2002) menciona que en halófitas, el rango normal para la relación Na/Ca se encuentra entre 10 y 20. Por tanto, dado que los valores hallados en el presente estudio se encontraban por debajo del rango

reportado por Cramer (2002), se puede inferir que el Na no representaba ningún factor de riesgo para que el metabolismo o el crecimiento se vieran afectados por los efectos nocivos que la salinidad induce en las plantas.

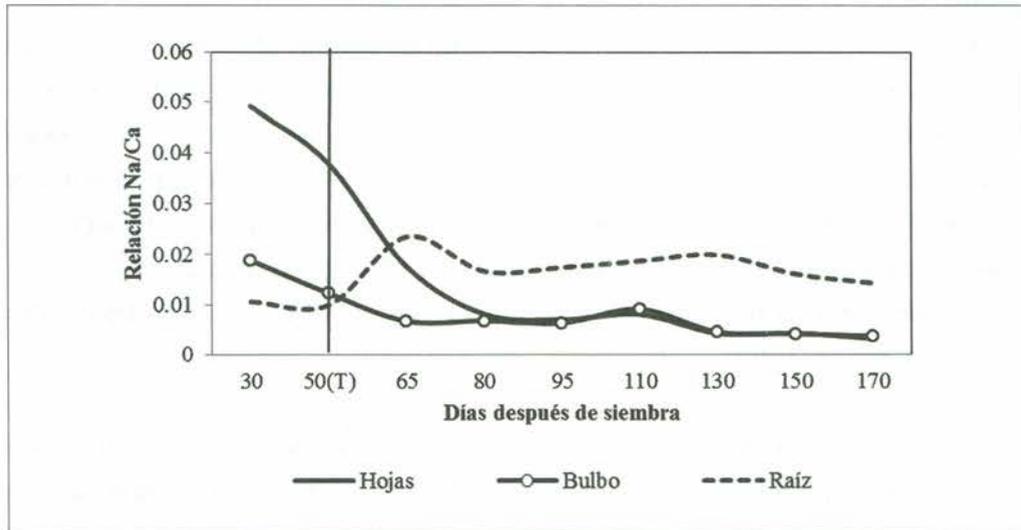


Figura 5.4. Relación Na/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Existen interacciones específicas entre Na y Ca en relación con la conductancia estomática. En la epidermis abaxial de la halófila *Tripolium aster*, se encontró que la conductancia estomática se inhibió con las concentraciones externas de Na, mientras que en la glicófito *Commelina communis*, las concentraciones externas del elemento estimularon la conductancia estomática (Perera, Mansfield & Malloch, 1994). Cuando se adicionó Ca en el medio externo en presencia de 50 mM de NaCl, el contenido de Ca impidió la reducción de la conductancia estomática en *Aster tripolium* (Perera, Robinson & Mansfield, 1995). Sin embargo, en la presencia de 50 mM KCl, la adición de Ca reduce la conductancia estomática, lo cual se debió probablemente a las interacciones entre el Na y el Ca en la membrana plasmática de las células de guarda y a los efectos de estos dos elementos sobre el flujo de Na, K y Ca (Perera et al., 1995).

Se ha reportado que la salinidad altera el transporte de iones y su contenido en plantas (Cramer, 1997). En general, bajo condiciones de exceso de sales, la absorción y la concentración de Na aumentan, y la toma de Ca y su concentración disminuyen en células y tejidos de plantas, en la medida en que la

concentración externa de Na se incrementa. Del mismo modo, en la medida en que concentraciones externas de Ca aumentan, la absorción de Na disminuye, y, por tanto, la concentración y la captación de Ca se incrementan en la planta. Una consecuencia de las interacciones entre el Na y el Ca, es la reducción del contenido de K en las plantas que se desarrollan en condiciones salinas, lo cual se puede prevenir con adiciones exógenas de Ca (Cramer, 2002). Dado que bajo las condiciones del presente trabajo no se presentaban condiciones de salinidad, según el análisis de suelo (Anexo A), los valores encontrados para la relación Na/Ca presentaron valores más bajos que el rango reportado como normal para esta relación, sin embargo, se presenta la información obtenida para esta relación, como guía para los ingenieros agrónomos y técnicos de la región, puesto que en la zona se ha evidenciado salinidad en algunos suelos en los que se cultiva la cebolla de bulbo.

Cuando las plantas crecen en ambientes salinos, se pueden acumular contenidos altos de Na o Ca en las hojas o en porciones de ellas, dando lugar a quemaduras, mientras que los síntomas de deficiencia de estos dos elementos cuando se presentan en condiciones de salinidad, son generalmente similares a aquellos que suceden en ausencia de sales. La deficiencia de Ca es un hecho muy común cuando la relación Na/Ca es alta en la solución del suelo (Shannon & Grieve, 1999).

Relación Mg/Ca

El valor de este cociente mostró un descenso en hojas, desde el trasplante hasta (50 DDS) la cosecha (170 DDS). El valor más alto se presentó al momento del trasplante (0,54) y el más bajo se encontró a los 130 DDS (0,057). En bulbos y raíces después del trasplante, los valores de esta relación mostraron cierta estabilidad durante el ciclo del cultivo, con valores entre 0,06-0,20 y 0,06-0,25, respectivamente (Fig. 5.5). Sin embargo, se pudo constatar un incremento en el valor de esta relación a los 95 DDS, en todos los tejidos analizados, como consecuencia de la toma de elementos fertilizantes aplicados a los 88 DDS en la segunda fertilización, puesto que, de hecho, la toma de NO_3 aumenta la asimilación de Ca, K, Mg y Mo, por tanto este anión indujo la toma y traslocación de Mg, causando un incremento en la relación Mg/Ca. En cuanto a este cociente,

Caldwell et al. (1994), en plantas de cebolla de bulbo, mencionan un valor de 0,19 (%/%) como normal, con lo cual se puede inferir que los valores encontrados para esta relación en los órganos de las plantas, en el presente trabajo, se encontraban dentro de los términos adecuados, a pesar de que según el análisis de suelo (Anexo A) tomado previo al trasplante, reveló un valor óptimo para el Mg ($2,03 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$) y un contenido alto de Ca ($12,2 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$). A partir de los contenidos de Ca y Mg en el suelo, se podría anunciar una eventual deficiencia de Mg, puesto que el valor de la relación Ca/Mg en el suelo fue de 9,45, sin embargo no fue así en la planta, ya que el valor de la relación Mg/Ca mostró valores normales en los tejidos analizados, lo que sugiere una posible facilidad de las plantas de cebolla para la toma y traslocación del Mg a todos sus órganos, a lo largo de todo el ciclo del cultivo.

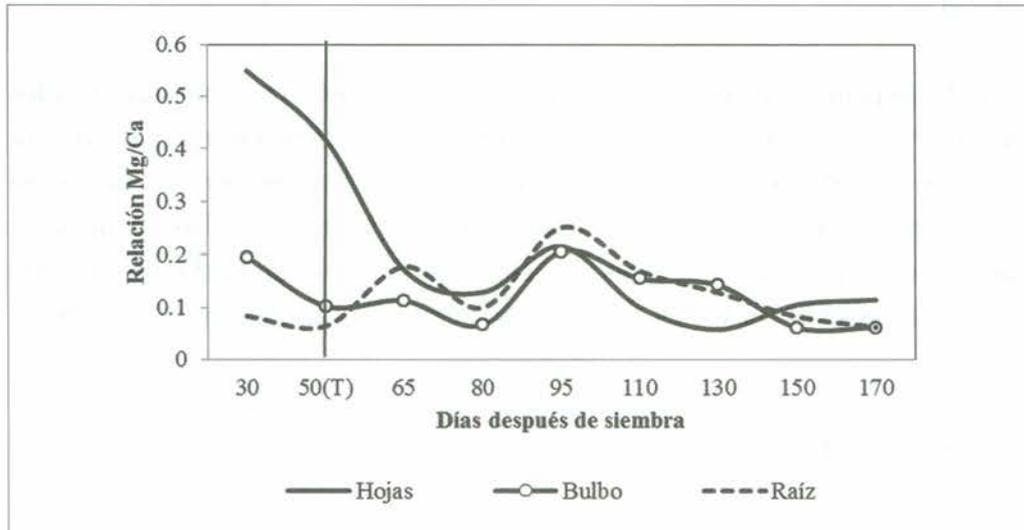


Figura 5.5. Relación Mg/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El Ca tiene diversas funciones en la planta. En la región de la lámina media de las paredes celulares es frecuente encontrar una alta concentración del elemento (Marschner, 1995). En ese sitio, el Ca se encuentra unido a los grupos carboxilo de los ácidos poligalacturónicos en donde ensambla cadenas adyacentes de ácido galacturónico mediante enlaces iónicos (Carpita & Gilbeaut, 1993). El Ca reviste gran importancia en la determinación de la rigidez de la pared celular y en la firmeza de frutos y hortalizas, debido a su función en la arquitectura de la pared celular, cuando se tiene un suministro adecuado durante el crecimiento

de las plantas (DeEll, Khanizadeh, Saad & Ferree, 2001). Además de aportar positivamente a la firmeza de los tejidos, este elemento, en algunas plantas cultivadas, incrementa la tolerancia a enfermedades (Volpin & Elad, 1991). Dado que los materiales de cebolla de bulbo de sabores suaves a dulces son, con frecuencia, de consistencia suave, en estos se debe mantener un suministro adecuado con Ca (Coolong & Randle, 2008). Además, Somers (1973) reportó que las paredes celulares de las plantas de cebolla de bulbo tienen alta afinidad con los iones de Ca.

El Mg se absorbe en las plantas en forma de catión Mg^{2+} , pero de manera similar al Ca, es un elemento móvil y se puede lixiviar, en especial en suelos arenosos. En los casos de un suministro inadecuado de Mg por parte del suelo, las plantas pueden transportar este elemento a través del floema para suplir sus necesidades en el crecimiento de las partes jóvenes (Barker & Pilbeam, 2007), lo cual podría resultar en los síntomas característicos en las hojas más viejas de las plantas de cebolla, las cuales se vuelven amarillas en toda su longitud por falta de clorofila. Además, las hojas adultas también pueden presentar lesiones pálidas en sus extremos distales.

Relación Ca/K

Se observó que en las raíces, el valor de la relación Ca/K descendió desde el momento del trasplante (50DDS) hasta los 65 DDS y luego presentó poca variación. En este tiempo, el valor de este cociente se mantuvo en el rango de 0,73-0,89. Los valores encontrados para bulbos y hojas, fueron estables durante todo el ciclo del cultivo, incluso en la etapa de semillero, previo al trasplante. Durante todo el ciclo del cultivo, desde la etapa de semillero (30 DDS) hasta cosecha (170 DDS), los valores encontrados para la relación Ca/K en hojas y bulbos, se mantuvieron en el rango de 0,17-0,78 y 0,49-0,92, respectivamente (Fig. 5.6). Para plantas de cebolla de bulbo, Caldwell et al. (1994) mencionan un valor normal de este cociente de 0,54 (%/%). Por tanto, se consideran como normales los rangos encontrados para los diferentes órganos evaluados en el presente trabajo, de manera que las plantas no presentaron los inconvenientes que tendrían lugar por el antagonismo entre el Ca y el K. En el análisis de suelos tomado en el lote previo al trasplante (Anexo A), tanto el Ca como el K se

encontraban en contenidos altos (12,22 y 1,29 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, respectivamente), situación que se reflejó en que la relación entre los dos elementos presentara valores aceptables.

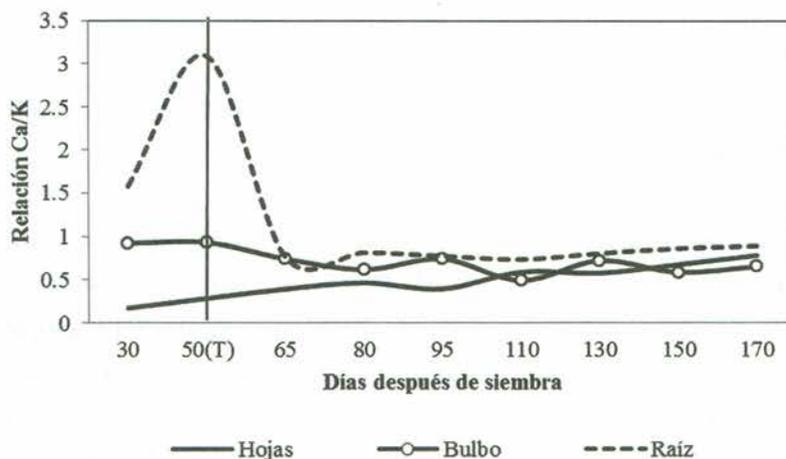


Figura 5.6. Relación Ca/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Malvi (2011) menciona que los iones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , son muy similares en tamaño y carga, por tanto, los sitios de intercambio no pueden distinguir la diferencia entre ellos. A menudo, estos sitios aceptan indiscriminadamente cualquiera de estos iones independientemente de cuál de ellos está destinado a ese sitio en particular. En general, los puntos de unión para el K^+ y el Ca^{2+} son mucho más fuertes que para el Mg^{2+} y fácilmente el Mg^{2+} no puede competir con estos dos iones, por los sitios de intercambio. Cuando se reduce el suministro de K^+ , la traslocación de los nitratos, fosfatos, Ca, Mg y aminoácidos, de igual manera, se disminuye. Al igual que sucede con el transporte por el floema, el papel del K^+ en el transporte vía xilema está a menudo vinculado a enzimas específicas y a los reguladores del crecimiento de la planta, por tanto, una oferta suficiente de K es esencial para el funcionamiento eficaz de estos sistemas de transporte. Asimismo, El Ca^{2+} es un nutriente esencial e importante para las plantas que juega un papel importante en los procesos que preservan la integridad estructural y funcional de las membranas vegetales y de las estructuras de la pared celular. Al respecto, Marschner (1995) menciona que el Ca en la planta tiene una función protagónica como regulador del transporte y selectividad iónica, y además,

interviene en los intercambios iónicos, así como en la actividad enzimática de la pared celular.

Relación Ca/Fe

Los valores encontrados para esta relación presentaron poca variación, a lo largo del ciclo del cultivo, en hojas y raíces, en donde luego del trasplante, estos valores oscilaron entre 39,78-67,61 (%/%) en hojas y entre 44,29-78,07 (%/%), en raíces. Además, en los bulbos se evidenció un incremento en los valores de esta relación entre 110 DDS y 170 DDS. De esta manera, los valores de este cociente en bulbos presentaron una variación entre 42,74-165,78, a partir del momento del trasplante, hasta la cosecha (Fig. 5.7). Los valores promedio para la relación Ca/Fe, desde el momento del trasplante hasta la cosecha fueron de 51,17; 88,73 y 49,73 (%/%), para hojas, bulbos y raíces, respectivamente. A su vez, mediante el análisis de suelo, se pudo evidenciar también que tanto el contenido de Ca como de Fe en el suelo, antes del trasplante, era alto (12,2 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ y 288 ppm) (Anexo A). Serra et al. (2013) mencionan un valor normal de 0,30 ($\text{g kg}^{-1}/\text{mg kg}^{-1}$) para esta relación, para plantas en general. Al hacer las conversiones de unidades utilizadas en el presente estudio, a las reportadas por Serra et al. (2013), se encontró que los valores promedio para la relación Ca/Fe, mencionados para hojas, bulbos y raíces eran de 0,04; 0,06 y 0,04 $\text{g kg}^{-1}/\text{mg kg}^{-1}$, respectivamente, los cuales, comparados frente al valor normal de 0,30 $\text{g kg}^{-1}/\text{mg kg}^{-1}$, indican un valor bajo del cociente de esta relación, y una proporción baja de Ca por un exceso de hierro en la planta, lo que coincide con el resultado del análisis de suelo.

La deficiencia de Ca en plantas de cebolla se manifiesta como una muerte progresiva de los extremos distales a los proximales en las hojas jóvenes, sin ningún tipo de amarilleamiento previo. Los bulbos son de calidad reducida, de baja densidad y de catáfilas exteriores suaves. Cholewa (2000), por su parte, menciona que la deficiencia de calcio conduce al incremento en la vacuolización en las células meristemáticas, a la formación de núcleos múltiples, a anormalidades cromosómicas y a distorsiones en las paredes celulares. Otros desórdenes relacionados con la deficiencia de Ca incluyen inhibición de la lignificación (Eklund & Eliason, 1990), sensibilidad a daños por bajas temperaturas (DeHayes

et al., 1997) y una disminución de la tolerancia a enfermedades (McLaughlin & Whimmer, 1999).

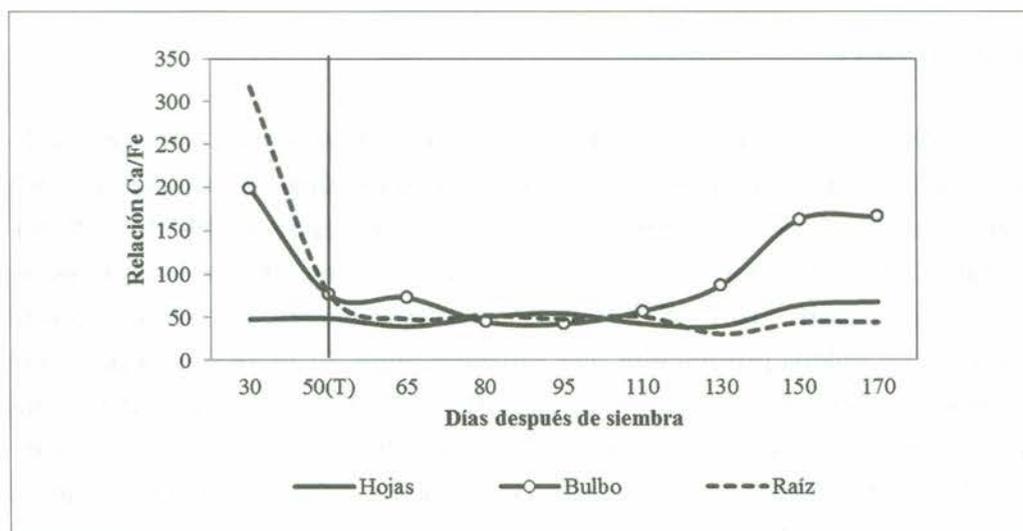


Figura 5.7. Relación Ca/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Relación Mn/Ca

La información colectada para esta relación reveló un ascenso en los valores de esta relación a partir del momento del trasplante hasta 110 DDS en hojas y bulbos, y hasta 130 DDS en raíces, para descender luego en todos los órganos evaluados, hasta el momento de la cosecha. Se registró un incremento en el valor de esta relación en todos los tejidos analizados, a partir de los 95 DDS, como consecuencia de la segunda aplicación de fertilizantes, realizada a los 88 DDS. En esta aplicación se adicionó al suelo una mezcla de 250 kg ha⁻¹ de 12-24-24 + 250 kg ha⁻¹ de 0-0-60, por tanto, la adición de K al suelo indujo la toma de Mn, el cual, según la Figura 3.8, se incrementó sustancialmente a partir de 95 DDS. En suelos ácidos, el K incrementa la asimilación de Mn, según Nutriterra (2008). Además, se debe recordar la reacción ácida del suelo en el que se desarrolló el presente trabajo (pH= 5,7). Los valores en unidades de ppm/ppm, registrados en estos órganos, a partir del momento del trasplante, estuvieron en el rango de 0,004-0,017 en hojas, 0,001-0,01 en bulbos y 0,0007-0,015 en raíces (Fig. 5.8). En relación con esta información, Caldwell et al. (1994) reportan un valor de 76,86 (ppm/%) para la relación Mn/Ca, el cual dista sustancialmente de los

valores encontrados en el presente trabajo, toda vez que las unidades de los elementos implicados en la relación, no eran las mismas. Sin embargo, cuando se hizo la conversión de unidades para unificar las del numerador y el denominador, acorde con los datos reportados por Caldwell et al. (1994), se encontró una relación Mn/Ca de 0,0073 (ppm/ppm), valor que está en concordancia con los valores registrados en el presente trabajo, con lo cual, se puede inferir un balance entre estos dos elementos, a pesar de su comportamiento antagónico. Este comportamiento medianamente equilibrado de Ca y el Mn en los tejidos analizados, se presentó en la planta, pese a que el Mn se encontraba en bajo contenido en el suelo (14,4 ppm), mientras que el Ca presentó un valor alto (12,2 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) (Anexo A), antes del trasplante, lo cual sugiere un mecanismo de regulación de la toma de elementos nutritivos por parte de la planta con el propósito de lograr un equilibrio interno de los elementos antagónicos, de manera que el metabolismo no se vea afectado.

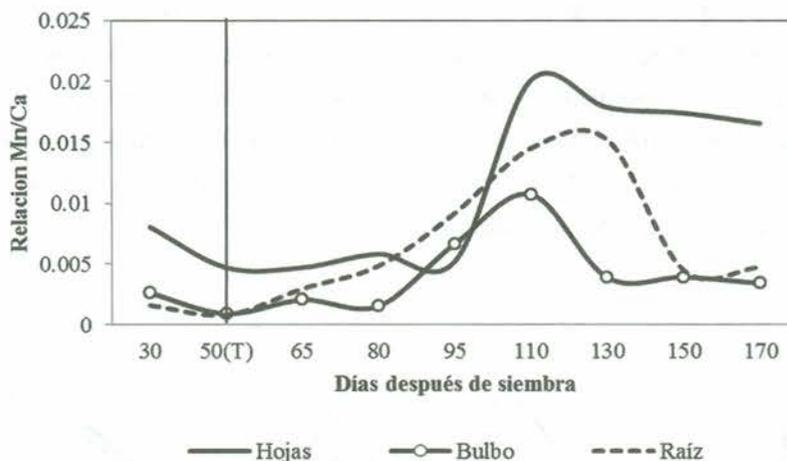


Figura 5.8. Relación Mn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Cuando se presenta deficiencia de Mn en plantas de cebolla, Delahaut y Newenhouse (2003) mencionan que se manifiesta una clorosis gradual intervenal, retraso del desarrollo y crecimiento retorcido en las partes jóvenes de estas plantas. Se presenta bulbificación retrasada y el cuello de la planta es delgado. Por su parte, Campbell y Nable (1988) mencionan que el Mn se transporta a través del xilema a las hojas, y tiene una movilidad limitada en ellas. Por tanto,

las áreas más cercanas a los extremos de las nervaduras serán los sitios con mejor suministro del elemento. De esta manera, las células más distantes del xilema manifiestan la deficiencia, en las cuales el elemento tiene un movimiento apoplástico restringido con la fase acuosa o un mínimo transporte simplástico.

Relación Zn/Ca

Los valores registrados en ppm/ppm, para esta relación, oscilaron en los rangos de 0,006-0,019 en hojas, 0,007-0,01 en bulbos y 0,003-0,01 en raíces, con valores promedio de 0,01; 0,009 y 0,08, respectivamente, desde el momento del semillero (30 DDS) hasta la cosecha (170 DDS) (Fig. 5.9). En relación con el valor de este cociente, Caldwell et al. (1994), reportan como normal un valor de 25,0 (ppm/%), equivalente a 0,0022 (ppm/ppm) aproximadamente, lo que implica que en el presente trabajo, los valores encontrados para esta relación se encontraban altos, en relación con el valor reportado por Caldwell et al. (1994), lo cual sugiere que el valor de la relación Zn/Ca se vio afectada por un exceso de Zn en los tejidos, como se analizó en el capítulo anterior, puesto que los contenidos de Zn superaron el valor normal reportado por Caldwell et al. (1994). Por otra parte, el resultado del análisis de suelo, previo al trasplante, (Anexo A) reveló un exceso de Ca ($12,2 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$) y de Zn (19,1 ppm), lo cual se reflejó en los tejidos como un contenido alto de Zn.

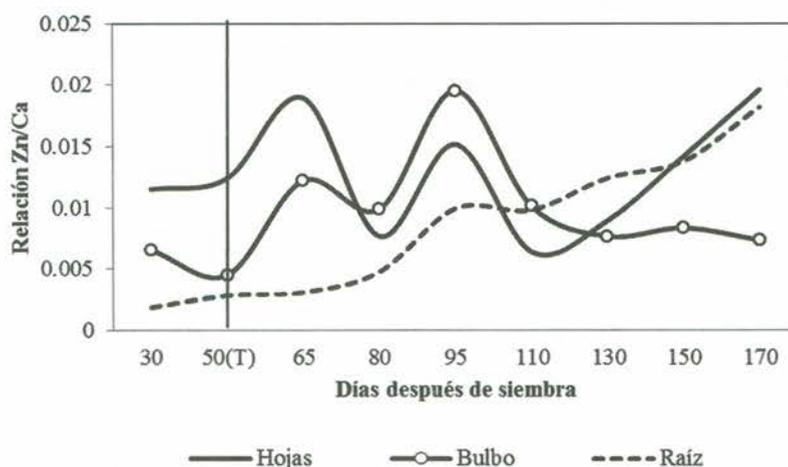


Figura 5.9. Relación Zn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Singh (2005) menciona que el exceso de Zn causa alteraciones en la toma de agua, así como también en la mitosis en los ápices de las raíces de cebolla. De igual manera se presenta inhibición de la citocinesis en las células de los ápices radicales de estas plantas, asociada a la producción de células binucleadas. Marschner (1995) reporta que en el caso del cinc, la movilización y removilización de nutrientes en plantas es muy importante para compensar, al menos parcialmente, la distribución heterogénea de nutrientes en la zona de las raíces. La toma de Zn es variable entre las especies vegetales (Tsonev & Cebola Lidon, 2012). El elemento se toma como un catión divalente (Zn^{2+}) o unido a compuestos orgánicos y tiende a mostrar un patrón lineal con su concentración en la solución de nutrientes o en los suelos (Kabata-Pendias & Pendias, 2001), y luego se transporta desde las raíces a la parte aérea, vía xilema (Broadley, White, Hammond, Zelko & Lux, 2007).

Relación Fe/Mn

En los bulbos, esta relación mostró una dinámica variable durante todo el ciclo del cultivo, pero tuvo un descenso hacia el final del ciclo. Entre el trasplante y la cosecha, los valores oscilaron entre 1,57 y 14,74 (ppm/ppm) en bulbos, con un valor promedio de 5,90. En hojas y raíces se notó un descenso desde el trasplante hasta la cosecha y se registraron valores de esta variable entre 0,89-5,35 y 1,35-16,08, con valores promedio de 2,61 y 5,32 (ppm/ppm), respectivamente (Fig. 5.10). A su vez, en el suelo, previo al trasplante, se encontró un contenido muy alto de Fe (288 ppm) y bajo de Mn (14,4 ppm) (Anexo A). Serra et al. (2013), reportan un valor normal de 2,61 (ppm/ppm), con una desviación estándar permisible de 1,76, para plantas en general, por tanto, se considera que los valores encontrados en el presente trabajo oscilaron entre los rangos normales, de manera que se presentó un equilibrio entre estos dos nutrientes en los tejidos analizados.

El Mn se toma en plantas mediante un sistema de transporte activo en las células epidermales de las raíces y se transporta como ion divalente (Mn^{2+}) hacia el interior del vegetal (Pittman, 2005). La toma del Mn por las raíces se caracteriza por ser un proceso bifásico. La fase inicial es rápida, reversible y no metabólica en el caso de Mn^{2+} , el Ca^{2+} y otros cationes, los cuales se intercambian libremente en la rizosfera. En esta fase, el Mn es absorbido por los constituyentes de las paredes

de los espacios apoplásticos de las células de las raíces, cargados negativamente (Humphries, Stangoulis & Graham, 2007). La segunda fase es lenta, en ella, el Mn se intercambia con menos facilidad que en la primera fase, además, su toma y transporte hacia el simplasto depende del metabolismo de la planta (Maas & Moore, 1968). Por su parte, Clarkson (1988), mediante mediciones de la cinética del elemento, encontró entre 100-1000 veces mayores tasas de transporte de Mn que el requerimiento del elemento estimado para la planta.

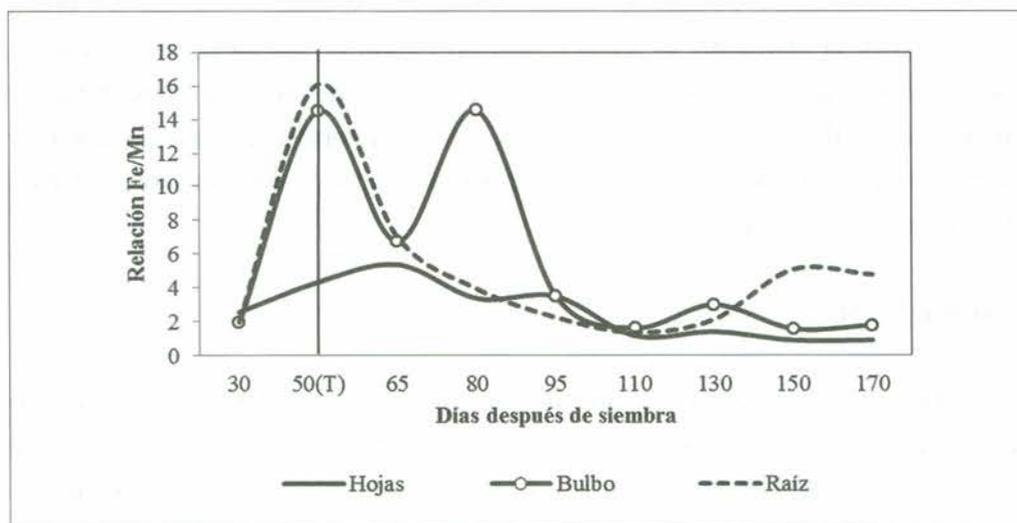


Figura 5.10. Relación Fe/Mn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Debido a su capacidad de aceptar y donar electrones, el Fe sirve como un cofactor para un gran número de enzimas con funciones críticas en la respiración, la biosíntesis de ADN y el metabolismo del N. En las plantas, el Fe es esencial para la fotosíntesis y la biosíntesis de clorofila. A pesar de su importancia, el Fe puede ser tóxico cuando se acumula en niveles inadecuadamente altos. Esto se debe a que el Fe libre puede participar en la reacción de Fenton y generar radicales hidroxilo citotóxicos (Halliwell & Gutteridge, 1992). Otro aspecto que las plantas deben enfrentar, es la limitada biodisponibilidad de Fe en muchos tipos de suelo. Este elemento forma complejos insolubles difícilmente disponibles a pH neutro o alcalino en ambientes aeróbicos (Briat et al., 2007) Como resultado de ello, es muy importante que las plantas adquieran cantidades suficientes del metal para satisfacer las demandas de sus diversos órganos, tipos de células y orgánulos, mientras que al tiempo, deben evitar completamente el exceso. Es claro, por

tanto, que la absorción, el almacenamiento y la traslocación de Fe son procesos totalmente regulados por la planta (Briat, Curie & Gaymard, 2007; Walker & Connolly, 2008).

Relación K/N

Se registró que el valor de esta relación presentó un ascenso en las hojas desde el momento del trasplante (50 DDS) hasta los 95 DDS. Posteriormente descendió y se estabilizó entre 110 y 170 DDS. Esto se justifica con la segunda aplicación de fertilizantes, realizada a los 88 DDS, en la cual se adicionó una dosis considerable de K, especialmente en forma de KCl. De esta manera, el K se incrementó en las hojas a los 95 DDS, pero luego fue removilizado a los bulbos, en los cuales se incrementó el valor de esta relación a los 95 DDS, como consecuencia de un mayor contenido de K en relación con la cantidad de N. Desde el trasplante hasta la cosecha, el cociente de esta relación estuvo entre 0,86-2,32 (%/%). En las raíces, el valor de la relación ascendió desde el trasplante hasta 110 DDS y después se estabilizó hasta la cosecha, cuyos valores oscilaron entre 1,68 y 0,95 (%/%) (Fig. 5.11). Desde el trasplante hasta la cosecha se notó un ascenso gradual de los valores de esta relación en los bulbos, con un pico a los 110 DDS y con valores que estuvieron en el rango de 0,86-1,96 (%/%). Durante ese mismo periodo, los valores promedio para la relación K/N fueron de 1,48; 1,26 y 1,35, los cuales estuvieron ligeramente por encima del valor reportado por Caldwell et al. (1994), que es de 0,85 (%/%). A pesar de la ligera diferencia, se considera que los valores obtenidos se encuentran en el rango de lo normal. Por otra parte, el comportamiento de la relación fue aceptable, a pesar de que según el análisis de suelo, se encontró un valor alto para el K ($1,29 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$), mientras que el N, representado en la MO, estaba en un valor normal (5,8% MO) (Anexo A).

Datnoff, Snyder y Korndörfer (2001) manifiestan que la importancia relativa del K se confirma mediante el estudio de deficiencias como consecuencia de desbalances entre el N y el K, asociados directamente con la actividad de las relaciones nutricionales con el K, más que a los valores de K disponible o a su contenido en el suelo. Handreck y Black (2002) reportan un rango aceptable entre 0,5-1,5 para la relación N/K en plantas ornamentales, con un valor promedio alrededor de 1,0. Estos autores agregan que las plantas tienden

a continuar acumulando K por encima de la cantidad necesaria para su buen desarrollo, mientras exista un suministro suficiente del elemento, por tanto, a menudo, presentan valores de la relación K/N por encima del rango sugerido. De esta manera, la acumulación por encima de los valores normales puede traer beneficios para la planta, ayudándola en la protección contra enfermedades. Además, López et al. (2011) hacen referencia a que la relación entre el N y el K determina el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos de las plantas, pues el K^+ podría actuar de manera similar a un regulador de crecimiento cuando la disponibilidad del nitrógeno es alta.

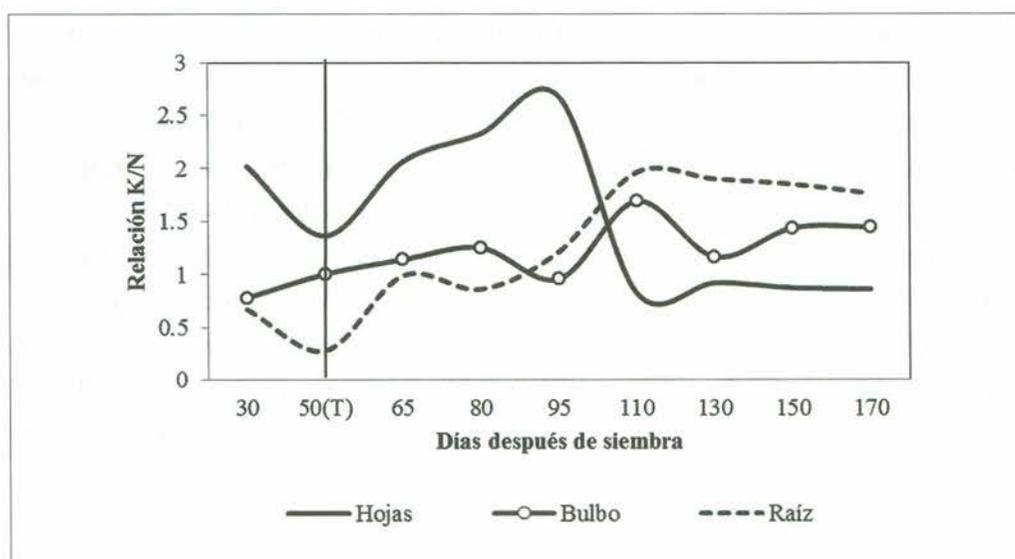


Figura 5.11. Relación K/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Relación P/Fe

Los cocientes registrados para esta relación mostraron una dinámica estable en hojas y raíces y un incremento fuerte en los bulbos, entre el momento del trasplante y la cosecha. Este incremento registrado en los bulbos a partir de los 95 DDS corresponde a una mayor toma de P a partir de los fertilizantes aplicados en la segunda fertilización, realizada a los 88 DDS, en la cual se adicionó al suelo una mezcla de fertilizante de grado 12-24-24, además del KCl. En bulbos, entre el trasplante y la cosecha, el valor de esta relación presentó variaciones entre 6,04-20,95, con un promedio de 13,48 (ppm/ppm), mientras que en hojas y

raíces, la variación de estos valores osciló en el rango de 2,40-10,14 y 3,05-5,4, con valores promedio de 5,76 y 3,15 (ppm/ppm), respectivamente (Fig. 5.12). Por su parte, en el suelo, según análisis de muestras tomadas antes del trasplante, se encontró un bajo contenido de P (27,13 ppm), mientras que el Fe se halló en alta concentración (288 ppm) (Anexo A). Serra et al. (2003) reportan un valor normal de 0,03 ($\text{g kg}^{-1}/\text{mg kg}^{-1}$) para esta relación en plantas en general. Con la intención de comparar los resultados del presente trabajo, con el valor reportado por Serra et al. (2003), se hizo la conversión de las unidades utilizadas en este trabajo y se calcularon valores promedio de 0,005; 0,01 y 0,003 ($\text{g kg}^{-1}/\text{mg kg}^{-1}$) para la relación P/Fe en hojas, bulbos y raíces, respectivamente. Estos valores son bastante bajos en relación con el valor normal indicado por Serra et al. (2013), con lo que se puede inferir que el exceso de Fe encontrado en el suelo afectó la dinámica del P en los tejidos de la planta.

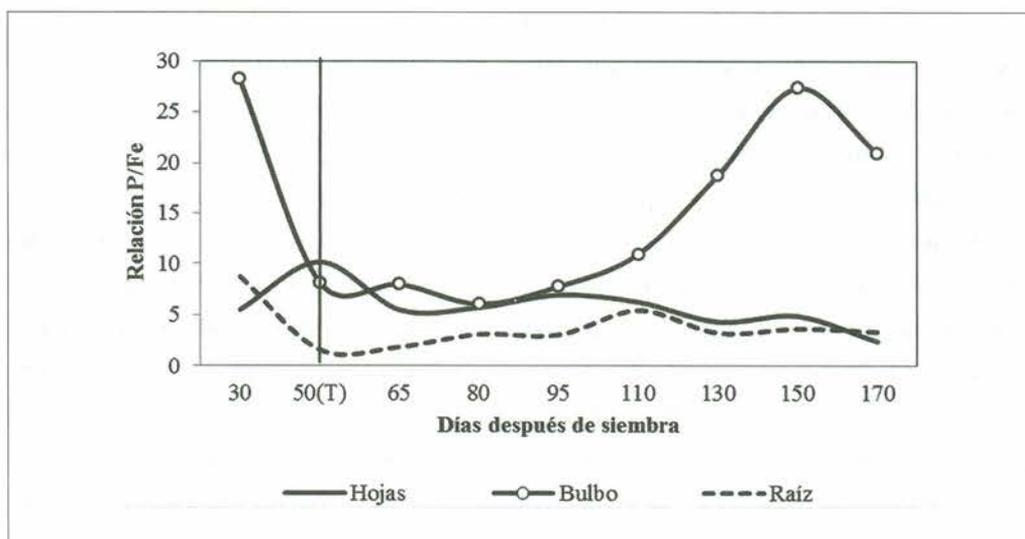


Figura 5.12. Relación P/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

En los suelos con reacción neutra a básica, la retención de P está dominada por reacciones de precipitación (Lindsay, Vlek & Chien, 1989), aunque el P también puede ser adsorbido en la superficie de los carbonatos de calcio (Larsen, 1967) y minerales de las arcillas (Devau, Le Cadre, Hinsinger & Gérard, 2010). El fosfato se puede precipitar con el Ca, y generar fosfatos dicálcicos que están disponibles para las plantas. En última instancia, los fosfatos dicálcicos pueden

ser transformados a formas más estables, tales como el fosfato octocálcico y la hidroxiapatita, que son menos disponibles para las plantas a pH alcalino (Arai & Sparks, 2007). La hidroxiapatita representa más del 50% del P inorgánico total en suelos calcáreos, según experimentos de fertilización a largo plazo. La disolución de la hidroxiapatita aumenta con la disminución del valor del pH del suelo (Wang & Nancollas, 2008), lo que sugiere que la acidificación de la rizosfera puede ser una estrategia eficaz para movilizar el P en suelos calcáreos. De igual manera, la alta afinidad del Fe por el P podría ser uno de los principales mecanismos responsables de la limitación de la disponibilidad de P en suelos tropicales (Chacon, Silver, Dubinsky & Cusack, 2006).

Relación Zn/P

En los bulbos, entre el trasplante y la cosecha, el valor de esta relación fue estable y osciló entre 0,035-0,11 (ppm/ppm), con un valor promedio de 0,15 en este tiempo. En las raíces, a partir del trasplante, los valores fluctuaron entre 0,008-0,24 (ppm/ppm), con un valor promedio de 0,13, entre el momento del trasplante y la cosecha. Además se notó un incremento entre 110 y 170 DDS, el cual fue leve en las raíces y muy fuerte en las hojas. Por último, los valores de esta relación se mantuvieron en hojas en el rango de 0,04-0,5 (ppm/ppm), con un valor promedio de 0,15 (Fig. 5.13). Con respecto a esta relación, Caldwell et al. (1994) reportan un valor de 88,0 (ppm/%) para la relación Zn/P, lo que sería equivalente a un valor cercano a 0,008 (ppm/ppm). Por tanto, los valores encontrados en el presente estudio para esta relación superan, en gran medida, los valores considerados como normales, lo cual es posible interpretar teniendo en cuenta que, en el análisis de suelos (Anexo A), el Zn se hallaba muy alto, con un valor de 19,1 ppm, mientras que el P presentaba un valor bajo (27,13 ppm). Esto sugiere que durante la temporada de crecimiento pudo presentarse baja disponibilidad y traslocación del P a los tejidos en los que era necesario, dada su baja disponibilidad en el suelo y a su interacción con el Zn, la cual se manifestó expresamente en una relación Zn/P alta en los tejidos analizados, durante todo el ciclo del cultivo.

La relación entre el P y el Zn en la planta es bastante compleja y se reportan resultados contradictorios en relación con sus efectos en los vegetales (Mai, Tian, Gale, Yang & Lu, 2011). Además, se informa que la movilización del Zn en

plantas cultivadas se ve ampliamente favorecida por bajos contenidos de P en los tejidos (Das & Sen, 1981).

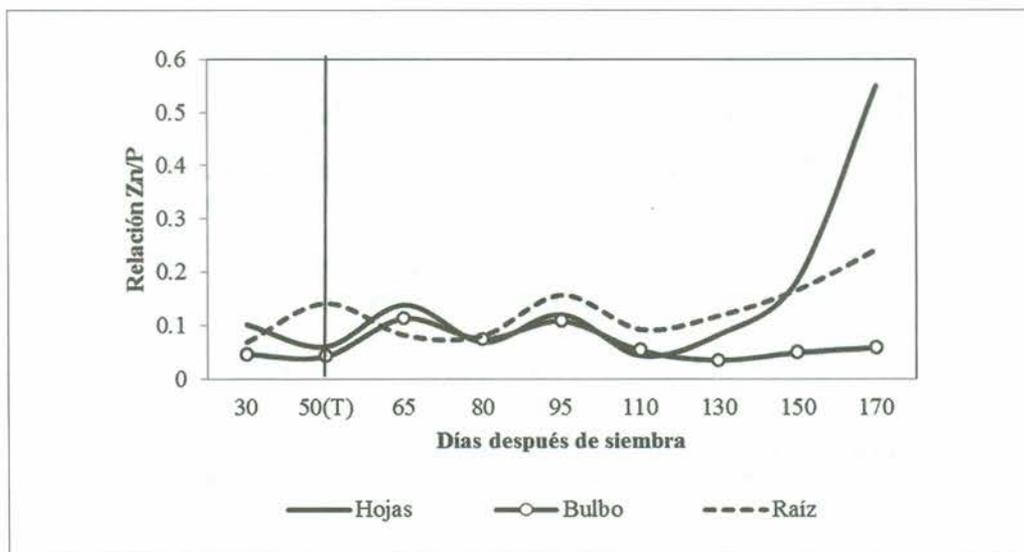


Figura 5.13. Relación Zn/P registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Relación Fe/Zn

Después del trasplante, los valores de esta relación mostraron alta variación en todos los órganos evaluados. En las raíces se registró un descenso del valor de esta relación a partir de 65 DDS, hasta los 170 DDS. A partir del trasplante, se anotaron valores en las raíces entre 1,63-6,65, con un promedio de 1,23 (ppm/ppm), mientras que en hojas y bulbos, la variación estuvo en los rangos de 0,75-3,64 y 0,82-2,90, respectivamente, en el mismo periodo, con promedios de 1,87 y 1,53 (ppm/ppm), recíprocamente (Fig. 5.14). El Fe y el Zn se encontraban en alto contenido en el suelo, antes del trasplante, con valores de 288 y 19,1 ppm, respectivamente (Anexo A). En correspondencia con esta relación, Serra et al. (2013) mencionan un valor normal de 3,95 (ppm/ppm) con una desviación estándar de 1,6, para plantas en general. Se puede observar que los valores promedio hallados en el presente trabajo se encontraban ligeramente por debajo de los rangos normales señalados por Serra et al. (2013), debido a que en el suelo, el Zn se encontraba en concentraciones muy elevadas, con lo cual se afectó la dinámica del Fe en los tejidos analizados.

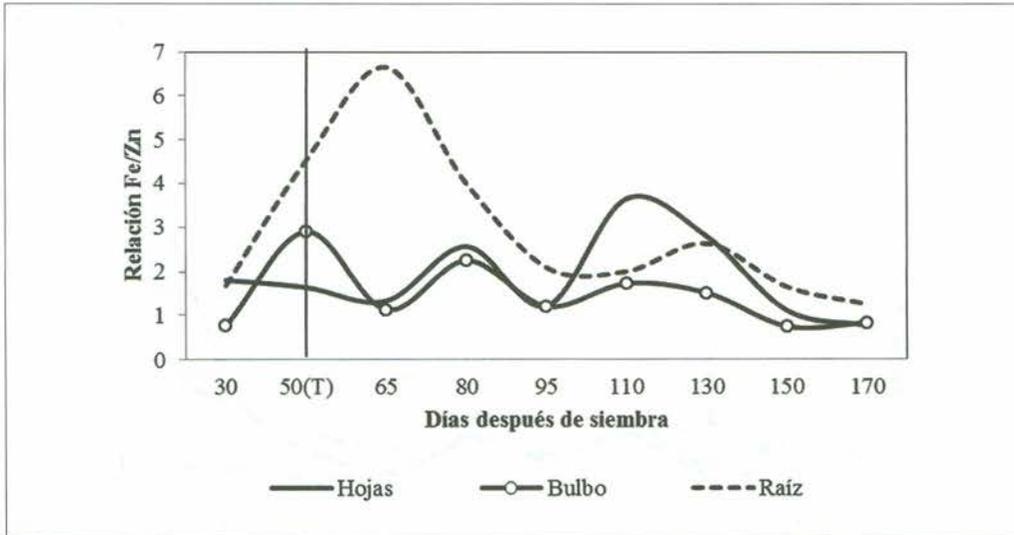


Figura 5.14. Relación Fe/Zn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El Zn parece estar relacionado con las funciones metabólicas del Fe en las plantas. Los niveles de Zn en los tejidos vegetales con frecuencia son más elevados que los valores críticos reportados para este elemento. En algunas plantas cultivadas se han encontrado disminuciones en su rendimiento que no se pueden atribuir al Fe o al Zn de manera individual, pero sí se han asociado a valores por fuera de lo normal en la relación entre estos dos elementos (Nambiar & Motiramani, 1981). Igualmente, mediante análisis de correlación de los contenidos de Fe y Zn en raíces y hojas de plantas cultivadas, se ha sugerido que el Zn puede interferir con la traslocación del Fe (Rosen, Pike & Golden, 1977).

Relaciones sinérgicas

Relación Mn/K

El valor de la relación Mn/K, mostró un incremento en las raíces desde el momento de trasplante hasta 130 DDS y posteriormente descendió hasta el momento de la cosecha. Desde el trasplante y a lo largo del ciclo del cultivo, esta relación osciló en las raíces entre 0,002-0,01 (ppm/ppm), con un promedio de 0,005. En las hojas se pudo registrar que el valor de esta relación mostró un ascenso rápido entre 95 y 119 DDS y luego permaneció casi estable hasta la cosecha,

con valores que estuvieron entre 0,001-0,01 (ppm/ppm), con un promedio de 0,006. Por último, en los bulbos, los valores máximos se presentaron entre 95 y 110 DDS, con oscilaciones entre 0,0008-0,005 (ppm/ppm), con un promedio de 0,002 (Fig. 5.15). El incremento registrado a partir de 95 DDS, en todos los tejidos evaluados, fue la consecuencia del sinergismo entre el Mn y el K, dado que el K acrecienta la asimilación de Mn en suelos ácidos. Además se debe recordar que en la segunda aplicación de fertilizantes, a los 88 DDS, se adicionó al suelo una cantidad considerable de K, y que el suelo presentaba una reacción ácida (pH=5,7). Con respecto a esta relación, Caldwell et al. (1994) mencionan un valor normal de 35,75 (ppm/%), lo que sería equivalente a un valor aproximado de 0,0032 (ppm/ppm). De esta manera se considera que los valores encontrados en el presente trabajo, están dentro de los valores normales, con los cuales se garantiza un adecuado suministro y traslocación del Mn y K en las plantas de cebolla. En el suelo, según su análisis, se evidenció un contenido bajo de Mn (14,4 ppm) y alto de K (1,29 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) (Anexo A).

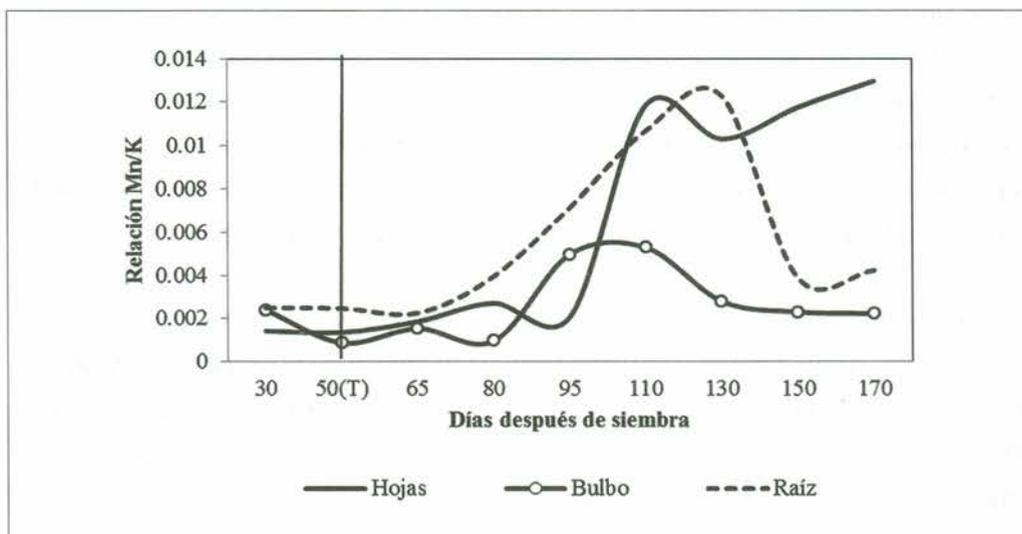


Figura 5.15. Relación Mn/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Existen reportes que indican que con el incremento del contenido de K, aumenta de igual manera la cantidad tomada de Mn en los tejidos aéreos y en las raíces de algunas plantas cultivadas; también se ha reportado un efecto positivo del K sobre el transporte del Mn. Por tanto, es igualmente posible que la adición de K a las

plantas pueda causar o acentuar la toxicidad por Mn, a través del incremento de la toma de este último elemento en plantas de soya, y la reducción de la toxicidad por Mn se puede inducir mediante la disminución en la tasa de absorción de Mn por parte de las raíces, bajo condiciones de alto suministro de K. De esta manera, mediante el incremento del suministro de K o Mn se reduce el contenido de Mg en el tejido foliar (Heenan & Campbell, 1981). Por otra parte, en plantas de cebada, Alam, Akiha, Kamei, Imamul Huq y Kawai (2005) encontraron que altos niveles de K podrían evitar la acumulación de Mn, lo que sugiere un efecto antagónico del K sobre la toma de Mn por parte de las raíces de estas plantas.

Relación S/Mg

El comportamiento de la relación S/Mg, en los tres órganos estudiados, fue variable durante todo el ciclo de las plantas de cebolla (Fig. 5.16). A partir del momento del trasplante, hasta el final del ciclo del cultivo, los valores de esta relación se encontraban entre 6,79-24,24 en las raíces, entre 4,23-15,30 (ppm/ppm) en los bulbos y entre 3,31-23,51 (ppm/ppm) en las hojas; y, con valores promedio de 13,08;9,86 y12,04, respectivamente, mientras que Caldwell et al. (1994) reportan un valor normal de 1,74 (%/%) en hojas, lo cual denota que los valores encontrados en este estudio, en los diferentes órganos, superaron el valor reportado como normal. De igual manera, en el suelo se encontró un nivel medio para S (10,8 ppm) y óptimo para Mg (2,03 cmol⁺ kg⁻¹) (Anexo A).

El S tiene diferentes funciones en las plantas, tales como la producción y el ajuste de los controladores del crecimiento como la tiamina y la resistencia de las plantas al frío debido al grupo tiol o grupo sulfhidrilo. Las funciones del Mg en plantas son variadas. Se ha mencionado que este elemento es activador de numerosas enzimas de los portadores de fósforo, participa en particular en el ciclo del ácido cítrico y en la respiración de las plantas, entre otros (Ejraei, 2010).

Como el S es un componente esencial de las proteínas, su deficiencia tiene como consecuencia una inhibición de la síntesis de estas. Por consiguiente, en los tejidos de las plantas con deficiencia de S se acumulan los demás aminoácidos que no contienen este elemento, en especial, la asparagina, la glutamina y la arginina. Se ha reportado que plantas con deficiencia de S, manifiestan una

acumulación de amidas nitrogenadas asociadas con un bajo contenido de azúcar, como consecuencia de la pobre actividad fotosintética de las plantas cloróticas deficientes en S, y por tanto, tienen un bajo contenido de proteínas (Guerrero & Tello, 2000).

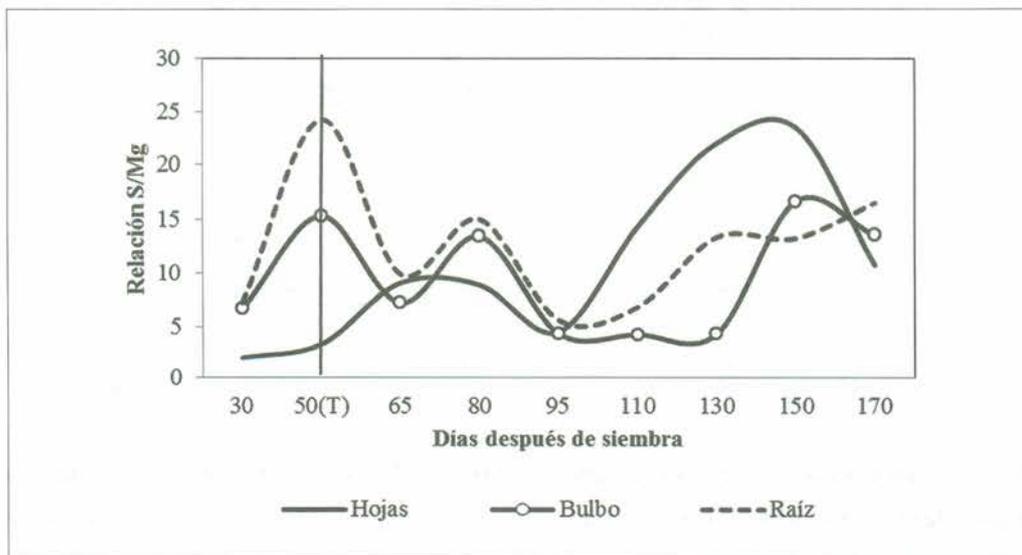


Figura 5.16. Relación S/Mg registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

Relación S/N

Los valores de esta relación variaron en un rango estrecho en bulbos y hojas, pero en las raíces se encontró un incremento desde el trasplante hasta 130 DDS y luego descendió hasta el momento de la cosecha. En raíz, bulbo y hojas, los valores de esta relación oscilaron entre 1,04-2,61; 0,51-1,46 0,53-1,45y (%/%) (Fig. 5.17), respectivamente, con valores promedio de 1,58; 0,77 y0,96, en el mismo orden, mientras que Caldwell et al. (1994) reportan un 0,10 (%/%) como valor de referencia, de manera que se considera que los valores encontrados son adecuadas, dado que en el suelo, estos dos elementos se encontraban dentro del rango normal. El análisis reveló que en el suelo, el contenido de S era de 10,8 ppm, mientras que el contenido de MO era de 5,8% (Anexo A). Por tanto, dado que estos elementos se encontraban dentro del rango óptimo en el suelo, la relación S/N, estaba balanceada en la planta.

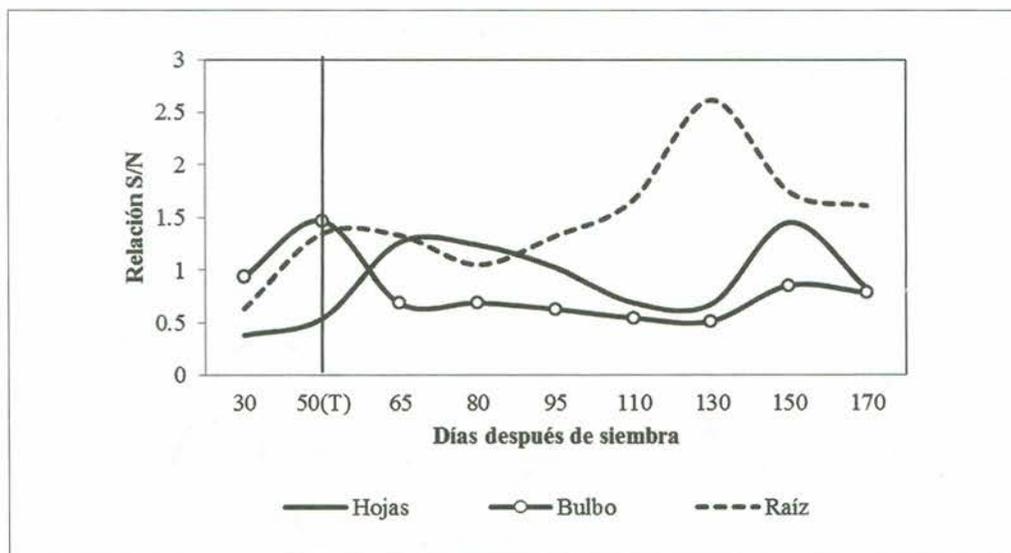


Figura 5.17. Relación S/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

El S es un elemento esencial en la nutrición vegetal. Plantas como colza, cebolla, ajo y remolacha azucarera, presentan una alta demanda de este elemento (Klikocka & Głowacka, 2013). La relación entre el S y el N en tejidos vegetales se ha utilizado ampliamente para evaluar el suministro de S en las plantas, complementado con la aplicación de N (Abrol & Ahmad, 2003). La cebolla de bulbo es uno de los cultivos más exigentes en S. Se ha encontrado que este cultivo extrae en una cosecha de 37 t ha⁻¹, un total de 34 kg de S, de esta cantidad, 22 kg se localizan en los bulbos y 12 kg en el follaje. Para restituir el S extraído se sugiere, por tanto, aplicar hasta 41 kg de S ha⁻¹, con lo cual se logra un incremento de hasta 19% en la cosecha posterior (Bornemisza, 1990).

Las transformaciones del S en el suelo son muy similares a las del N. La mayoría del S en el suelo se encuentra formando parte de la materia orgánica y no está disponible. El S orgánico se combina con el oxígeno para formar SO₄²⁻, en suelos bien aireados en zonas cálidas; este anión está disponible para los vegetales. Este proceso es muy similar al de la conversión del N orgánico a las formas disponibles NH₄⁺ y NO₃⁻. El sulfato es fijado por las bacterias durante la descomposición de los residuos de cosecha ricos en carbono. El S es un constituyente de la enzima nitrato-reductasa, involucrada en la reducción de nitratos a N orgánico. Por tanto, la baja disponibilidad de S interviene en el metabolismo del N, por lo cual, los

síntomas de deficiencia de S son similares a la deficiencia de N en muchas plantas cultivadas (Schulte & Kelling, 1992).

Se sabe que aplicando juntos el S y el N, los dos elementos tienen una acción sinérgica, o conjunta, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de ambos elementos que en el caso de una aplicación de ambos por separado. Sin embargo, si se suministran cantidades elevadas de uno de los dos elementos y escasa del otro, las diferencias serán bastante fuertes. Esto se entiende porque tanto el N como el S son partes fundamentales de las proteínas (Bornemisza, 1990; Kanwar & Mudahar, 1986).

La relación N-orgánico/S-orgánico es muy alta en tejidos de vegetales con deficiencia de S (70/1 a 80/1), en relación con los tejidos de las plantas que crecen con un suministro normal de S. Otro indicador de deficiencia de S en plantas es la acumulación de nitratos en sus tejidos (Guerrero & Tello, 2000).

Otra relación de gran importancia es la de P/S. En esta interacción debe considerarse el efecto desplazante del fosfato, especialmente si se usa en grandes cantidades, como es común para suelos volcánicos. Esto tendría como consecuencia un aumento del lavado del sulfato y puede incluso acarrear deficiencias donde no se las observaba previamente (Guerrero & Tello, 2000). Kanwar & Mudahar (1986) reportaron que la aplicación conjunta de S y P tuvo efectos diferentes en diversos cultivos. Se encontraron interacciones positivas para algodón, soya, arroz y trigo, mientras que el efecto fue antagónico para lentejas y leguminosas.

Referencias

- Abo-Zeid, M. I. & Farghali, M. A. (1996). Potassium fertilization and plant density effects on onion grown in different soils. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 27, 33-45.
- Abrol, Y. P. & Ahmad, A. (2003). *Sulphur in plants*. Heidelberg: Springer. 398 p.

-
- Alam, S., Akiha, F., Kamei, S., Imamul Huq, S. M. & Kawai, S. (2005). Mechanism of potassium alleviation of manganese phytotoxicity in barley. *Journal of Plant Nutrition*, 28(5), 889-901.
- Al-Moshileh, A. M. P. (2001). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on onion productivity in central region of Saudi Arabia. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 32, 291-305.
- Arai, Y. & Sparks, D. L. (2007). Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: a multiscale approach. *Advances in Agronomy*, 94, 135-179.
- Barker, A. V. & Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton: Taylor & Francis Group. DOI: 10.1201/9781420014877.fmatt.
- Beaufils, E.R. (1973). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. South Africa: University of Natal, Pietermaritzburg. *Soil Science Bulletin*, 1. 132p.
- Bornemisza, E. (1990). *Problemas del azufre en los suelos y cultivos de mesoamérica*. Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 104 p.
- Briat, J. F., Curie, C. & Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 276-282.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173, 677-702.
- Caldwell, J. O., Sumner, M. E. & Vavrina, C. S. (1994). Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *Hortscience*, 29(12), 1501-1504.
- Campbell, L. C. & Nable, R. S. (1988). Physiological function of manganese in plants. In R. D. Graham, J. Hannam & N. C. Uren (editors). *Manganese in soils and plants*. (pp. 139-154). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

-
- Carpita, N. C. & Gilbeaut, D. M. (1993) Structural models of primary cell walls in flowering plants: Consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant Journal*, 3, 1-30.
- Casierra Posada, F. & Hernández, H. L. (2006). Evapotranspiración y distribución de materia seca en plantas de mora (*Rubus* sp.) bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 9 (1), 85-95.
- Casierra Posada, F., Lizarazo, L. M. & Andrade Filho, G. (2004). Estado nutricional de árboles de manzano 'Anna' durante la estación de crecimiento en los altiplanos colombianos: II. Relaciones e interacciones entre nutrientes. *Agronomía Colombiana*, 22 (2), 160-169.
- Castro, H. E., Cely, G. E. y Vásquez, S. N. (2009). *Criterios técnicos para un manejo eficiente del riego en cebolla de bulbo*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colección Investigación UPTC No. 23. 187 p.
- Chacon, N., Silver, W. L., Dubinsky, E. A. & Cusack, D. F. (2006). Iron reduction and soil phosphorus solubilization in humid tropical forests soils: the roles of labile carbon pools and an electron shuttle compound. *Biogeochemistry*, 78, 67-84.
- Cholewa, E.M. (2000). *Calcium transport and delivery to the xylem in onion (Allium cepa L.) roots*. Ph.D. tesis. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.158 p.
- Clarkson, D. T. (1988). The uptake and translocation of manganese by plant roots. In R. D. Graham, R. J. Hannam & N. J. Uren. (eds). *Manganese in Soil and Plants*. (pp. 101-111). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Coolong, T. W. & Randle, W. M. (2008). The effects of calcium chloride and ammonium sulfate on onion bulb quality at harvest and during storage. *Hortscience*, 2, 465-471.

-
- Cramer, G.R. (1997). Uptake and role of ions in salt tolerance. In P. K. Jaiwal, R. P. Singh & A. Gulati, (eds.). *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants* (pp. 55-86). New Delhi: Oxford & IBH Publishing.
- Cramer, G.R. (2002). Sodium-Calcium interactions under salinity stress. In E. Läuchli, A. E Lüttge & R. Ulrich (Eds). *Salinity: Environment - Plants – Molecules*. (pp. 205-227). Rotterdam, Netherlands: Springer.
- Das, B. K. & Sen, S. P. (1981). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium deficiency on the uptake and mobilization of ions in Bengal gram (*Cicer arietinum*). *Journal of Biosciences*, 3(3), 249-258.
- Datnoff, L.E., Snyder, G.H. & Korndörfer, G.H. (2001). *Silicon in agriculture*. USA: Elsevier. 424 p.
- DeEll, J. R., Khanizadeh, S., Saad, F. & Ferree, D.C. (2001). Factors affecting apple fruit firmness: A review. *Journal of the American Pomological Society*, 55, 8-27.
- DeHayes, D.H., Schaberg, P.G., Hawley, G.J., Borer, C.H., Cumming, J.R. & Strimbeck, G.R. (1997). Physiological implications of seasonal variation in membrane-associated calcium in red spruce mesophyll cells. *Tree Physiology*, 17(11), 687-695.
- Delahaut, A.C. & Newenhouse, A.C. (2003). *Growing onions, garlic, leeks, and other alliums in Wisconsin. A guide for fresh-market growers*. Wisconsin: University of Wisconsin-Extension A3785. 24 p.
- Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, P. & Gérard, F. (2010). A mechanistic model for understanding root-induced chemical changes controlling phosphorus availability. *Annals of Botany*, 105, 1183-1197.
- Ejraei, A. (2010). Interaction of sulfur and magnesium on palm oil seed. *Acta Horticulturae*, 882, 769-771.

-
- Eklund, L. & Eliasson, L. (1990). Effects of calcium ion concentration on cell wall synthesis. *Journal of Experimental Botany*, 41, 863–867.
- Faust, M. (1989). *Physiology of temperate zone fruit trees*. New York: John Wiley and Sons.
- Greenwood, D.J., Karpinets, T.V., Zhang, K., Bosh-Serra, A., Boldrini, A. & Karawulova, L. (2008). A unifying concept for the dependence of whole-crop N:P ratio on biomass: Theory and experiment. *Annals of Botany*, 102(6), 967-977.
- Guerrero, J. & Tello, L. (2000). Efecto de la aplicación de azufre en los cultivos de cebolla y papa bajo condiciones de campo. *Anales Científicos Universidad Nacional Agraria La Molina*, 45, 323-339.
- Güsewell, S. (2004). N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 164, 243–266.
- Güsewell, S. (2005). High nitrogen:phosphorus ratios reduce nutrient retention and second year growth of wetland sedges. *New Phytologist*, 166, 537-550.
- Halliwell, B. & Gutteridge, J.M.C. (1992). Biologically relevant metal ion-dependent hydroxyl radical generation. *FEBS Letters*, 307, 108-112.
- Handreck, K.A. & Black, N.D. (2002). *Growing media for ornamental plants and turf*. Sidney, Australia: UNSW Press. 542 p.
- Heenan, D.P. & Campbell, L.C. (1981). Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg). *Plant and Soil*, 61(3), 447-456.
- Hiroshi, N. & Boyer, J. S. (1989). Turgor and growth at low water potentials. *Plant Physiology*, 89, 789-804.
- Humphries, J., Stangoulis, J. & Graham, R. (2007). Manganese. In A. Barker & D. Pilbeam (eds). (pp. 351-366). *Handbook of Plant Nutrition*. USA: Taylor and Francis.

-
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton - London - New York - Washington D.C.: CRC Press. 432 p.
- Kanwar, J.S & Mudabar, M.S. (1986). *Fertilizer sulfur and food production*. Dordrecht, Holland: M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publ. 247 p.
- Kerkhoff, A.J. & Enquist, B.J. (2006). Ecosystem allometry: the scaling of nutrient stocks and primary productivity across plant communities. *Ecology Letters* 9, 419-427.
- Kerkhoff, A.J., Fagan, W.F., Elser, J.J. & Enquist, B.J. (2006). Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants. *The American Naturalist* 168, 103-122.
- Kleiber, T., Golcz, A. & Krzesiński, W. (2012). Effect of magnesium nutrition of onion (*Allium cepa* L.). Part I. Yielding and nutrient status. *Ecological Chemistry and Engineering S.*, 19(1), 97-105.
- Klikocka, H. & Głowacka, A. (2013). Does the sulphur fertilization modify magnesium and calcium content in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.)? *Acta Scientiarum Polonorum Horticulture*, 12(5), 41-53.
- Larsen, S. (1967). Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, 19, 151-210.
- Lindsay, W.L., Vlek, P.L.G. & Chien, S.H. (1989). Phosphate minerals. In J. B. Dixon & S. B. Weed (eds.). *Minerals in Soil Environment*, (2nded.). (pp 1089-1130). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- López, P.P, Montes, A.C., Rodríguez, G.S., Torres, N., Rodríguez, S.M. & Rodríguez, R. (2011). Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chihuahua* 5(2), 98-104.
- Dajik, Z. (2006). Salt stress. In K. V. Madhava Rao, A. S. Raghavendra, K. Janardhan Reddy (eds). *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Rotterdam, Holanda: Springer. 44-99 p.

-
- Maas, E. & Moore, D. (1968). Manganese absorption by excised barley roots. *Plant Physiology* 43, 527-530.
- Mai, W.X., Tian, X.H., Gale W.J., Yang, X. W & Lu, X. C. (2011). Tolerance to Zn deficiency and P-Zn interaction in wheat seedlings cultured in chelator-buffered solutions. *Journal of Arid Land* 3(3), 206-213.
- Malvi, U.R. (2011). Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24, 106-109.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd edition). London, UK: Academic Press. 889 p.
- Maathuis, F.J.M. & Amtmann, A. (1999). K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Annals of Botany* 84(2), 123-133.
- McLaughlin, S.B. & Wimmer, R. (1999). Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytologist* 142, 373-417.
- Nambiar, K.K.M. & Motiramani, D.P. (1981). Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic tool for prediction of Zn deficiency in crop plants. *Plant and Soil* 60(3), 357-367.
- Nutriterra. (2008). *Sinergismo y antagonismo entre iones*. Recuperado de: <http://www.nutriterra.com/images/PDF/Info%20Tecnica/sinergismo.pdf>
- Perera, L.K.R.R., Mansfield, T.A. & Malloch, A.J.C. (1994). Stomatal responses to sodium ions in *Aster tripolium*: A new hypothesis to explain salinity regulation in above-ground tissues. *Plant, Cell & Environment* 17, 335-340.
- Perera, L.K.R.R., Robinson, M.F. & Mansfield, T.A. (1995). Responses of the stomata of *Aster tripolium* to calcium and sodium ions in relation to salinity tolerance. *Journal of Experimental Botany* 46, 623-629.

-
- Pittman, J. (2005). Managing the manganese: Molecular mechanisms of manganese transport and homeostasis. *New Phytologist* 167, 733-742.
- Rosen, J.A, Pike, C.S. & Golden, M.L. (1977). Zinc, iron, and chlorophyll metabolism in zinc-toxic corn. *Plant Physiology* 59, 1085-1087.
- Sadras, V.O. (2006). The N:P stoichiometry of cereal, grain legume and oilseed crops. *Field Crops Research* 95, 13-19.
- Schulte, E.E. & Kelling, K.A. (1992). *Soil and applied sulfur*. Wisconsin, USA: University of Wisconsin, Cooperative of Extension. (A2525). 4 p.
- Serra, A.P., Marchetti, M.E., Bungenstab, D.J., Da Silva, M.A.G., Serra, R.P., Guimarães, F.C.N., Conrad, V. & De Moraes, H.S. (2013). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) to assess the nutritional state of plants. En M.D. Matovic (Ed.). *Biomass now - sustainable growth and use*. DOI: 10.5772/54576. Retrieved from [ftp://77.47.180.135/Books/.../Теплоэнергетика/ГЭС%20и%20альтернативная%20энергетика/Биотопливо/\[2013\]%20edited%20by%20Matovic%20M.D.%20-%20Biomass%20Now%20-%20Sustainable%20Growth%20and%20Use.pdf](ftp://77.47.180.135/Books/.../Теплоэнергетика/ГЭС%20и%20альтернативная%20энергетика/Биотопливо/[2013]%20edited%20by%20Matovic%20M.D.%20-%20Biomass%20Now%20-%20Sustainable%20Growth%20and%20Use.pdf). (pp. 129-146). Rijeka, Croacia. InTech Prepress.
- Singh, V.P. (2005). *Metal toxicity and tolerance in plants and animals*. New Delhi, India: Sarup & Sons publishers. 238 p.
- Singh, S.P. & Verma, A.B. (2001). Response of onion (*Allium cepa*) to potassium application. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 46,182-185.
- Shannon, M.C. & Grieve, C.M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78, 5-38.
- Somers, G.F. (1973). The affinity of onion cell walls for calcium ions. *American Journal of Botany* 60, 987-990.

-
- Tsonev, T. & Cebola Lidon, F.J. (2012). Zinc in plants - An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24(4), 322-333.
- Volpin, H. & Elad, Y. (1991). Influence of calcium nutrition on susceptibility of rose flowers to Botrytis blight. *Phytopathology* 81, 1390-1394.
- Wadt, P.G.S. (1996). *Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. Tese de Doutorado. 123p.
- Walker, E.L. & Connolly, E.L. (2008). Time to pump iron: iron-deficiency-signaling mechanisms of higher plants. *Current Opinion in Plant Biology* 11, 530-535.
- Walworth, J.L. & Sumner, M.E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advance in Soil Science* 6, 149-188.
- Wang, L.J. & Nancollas, G.H. (2008). Calcium orthophosphates: Crystallization and dissolution. *Chemical Reviews* 108, 4628-4669.
- XiSheng, G., Liu, C.Y. & Wang, W.J. (1999). The effect of K fertilizer on the yield, qualities and nutrient uptake of onion. *China Vegetables* 2, 12-14.
- Yeo, A.R. (1998). Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49, 915-929.
- Zhang, K., Greenwood, D.J., White, P.J. & Burns, I.G. (2007). A dynamic model for the combined effects of N, P and K fertilizers on yield and mineral composition: Description and experimental test. *Plant and Soil* 298, 81-98.
- Zhong, H & Lauchli, A. (1994). Spatial distribution of solutes, K, Na, Ca and their disposition rates in the growth zone of primary cotton roots: Effect of NaCl and CaCl₂. *Planta* 194, 34-41.

CAPÍTULO SEIS

Conclusiones

Los métodos de diagnóstico del estado nutricional de las plantas de cebolla de bulbo, por medio del análisis químico de los tejidos vegetales (raíces, hojas y bulbo), son muy útiles para la interpretación de la limitación de cada nutriente y del equilibrio nutricional. Mediante este método se comparan las relaciones entre nutrientes de la muestra, con las relaciones ideales de referencia. Las bases de datos que componen las normas de referencia son formadas por muestras foliares de plantas de alta productividad y nutricionalmente equilibradas, organizadas por regiones productoras, lo que garantiza una mayor confiabilidad en el diagnóstico y facilidad en la interpretación de la información.

Los métodos utilizados en el presente trabajo y sus resultados, permiten un acercamiento a la aplicación de parámetros de comparación, con miras al diagnóstico del estado nutricional de las plantas de cebolla cultivadas en los altiplanos tropicales. De hecho, a lo largo de esta publicación se presentaron resultados experimentales, los cuales representan las calibraciones de la composición de los tejidos de la planta, de la composición del suelo, las relaciones nutricionales, las variables implicadas en el análisis del crecimiento, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo, como funciones del rendimiento de un cultivo de cebolla. Se confrontaron los datos obtenidos con resultados de investigaciones realizadas en cebolla de bulbo, en otras aliáceas, así como también en otras plantas cultivadas, con el propósito de verificar la confiabilidad de la información obtenida.

Se encontró que las ventajas que han sido determinadas experimentalmente para esta propuesta de diagnóstico, podrían ser: a) realizar el diagnóstico nutricional en cualquier estado de desarrollo de la planta, b) categorizar los elementos nutritivos, en orden de su importancia o grado de limitación del rendimiento,

c) incrementar la rapidez y flexibilidad del trabajo de investigación, con los consecuentes ahorros en tiempo y dinero, d) observar, estudiar y darle solución a los problemas en la medida que ellos van ocurriendo. Los resultados de esta publicación integran el balance nutricional de la planta y el suelo e incorporan la edad de la planta, lo que permite hacer recomendaciones confiables sobre el manejo del cultivo.

Las prácticas culturales utilizadas en la zona de estudio, como son, el encalado y el reabonado, afectaron sustancialmente tanto la dinámica de los elementos nutritivos y sus relaciones en los tejidos vegetales, así como también las variables mediante las cuales se evaluó el crecimiento de las plantas. Por tanto, al utilizar la información presentada en este trabajo, se deben considerar las características propias del sistema de producción de cebolla de bulbo en la región.

ANEXOS

Anexo A. Resultado del análisis de suelo del lote experimental en el cual se realizó el presente estudio

| Parámetro | Resultado | | | Interpretación |
|--|-----------|----|-------|--|
| | %A | %L | %Ar | |
| Textura | 36,88 | 28 | 35,12 | Clase textural: FA. Con infiltración regular, buena retención de humedad y regular aireación |
| pH | 5,7 | | | Moderadamente ácido |
| M.O. (%) | 5,8 | | | Contenido normal de materia orgánica |
| P (ppm) Bray II | 27,13 | | | Bajo contenido de P, se recomienda aplicar un abono con alto contenido de este elemento |
| Ca ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 12,2 | | | Alto contenido de Ca, por lo que se pueden presentar problemas con Mg y K |
| Mg ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 2,03 | | | Óptimo |
| K ⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 1,29 | | | Alto contenido de K, pueden presentarse antagonismos con el Ca y Mg |
| Na (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 0,51 | | | Normal |
| CE dS m ⁻¹ | 0,77 | | | No salino |
| S | 10,8 | | | Medio |
| Fe | 288 | | | Muy alto |
| Mn | 14,4 | | | Bajo |
| Zn | 19,1 | | | Muy alto |
| Cu | 1,77 | | | Bajo |
| Ca/Mg | 6,0 | | | Contenido de Ca en exceso con respecto al Mg. Puede presentarse deficiencia de Mg |
| Ca/K | 9,45 | | | El K se encuentra en exceso con respecto al Ca, la toma de Ca puede verse afectada por el contenido de K |
| Mg/K | 1,57 | | | El Mg está muy por debajo, pueden presentarse deficiencias de este elemento |
| (Ca + Mg)/K | 11,03 | | | El Ca y el Mg se encuentran en deficiencia con respecto al K |

Anexo B. Análisis de minerales en tejidos de plantas de cebolla de bulbo evaluadas en el presente estudio

| Nutriente | Material vegetal | Días después de siembra | | | | | | | | |
|-----------|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 30 | 50* | 65 | 80 | 95 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| N (%) | Hojas | 2,743 | 2,783 | 2,276 | 2,326 | 2,446 | 4,073 | 3,236 | 2,883 | 2,610 |
| | Bulbo | 2,170 | 1,930 | 2,453 | 2,543 | 2,996 | 3,266 | 2,956 | 2,386 | 2,126 |
| | Raíz | 2,613 | 2,836 | 2,116 | 2,413 | 1,986 | 1,503 | 1,373 | 1,273 | 1,203 |
| P (%) | Hojas | 0,109 | 0,223 | 0,254 | 0,282 | 0,328 | 0,287 | 0,185 | 0,129 | 0,062 |
| | Bulbo | 0,221 | 0,192 | 0,227 | 0,263 | 0,386 | 0,517 | 0,537 | 0,337 | 0,253 |
| | Raíz | 0,075 | 0,049 | 0,060 | 0,100 | 0,118 | 0,231 | 0,222 | 0,167 | 0,142 |
| K (%) | Hojas | 5,545 | 3,799 | 4,700 | 5,417 | 6,562 | 3,347 | 2,976 | 2,515 | 2,247 |
| | Bulbo | 1,693 | 1,936 | 2,798 | 3,181 | 2,867 | 5,515 | 3,446 | 3,429 | 3,074 |
| | Raíz | 1,748 | 0,795 | 2,092 | 2,078 | 2,411 | 2,952 | 2,612 | 2,357 | 2,120 |
| Ca (%) | Hojas | 0,961 | 1,084 | 1,851 | 2,513 | 2,596 | 1,973 | 1,719 | 1,700 | 1,759 |
| | Bulbo | 1,564 | 1,808 | 2,082 | 1,967 | 2,127 | 2,712 | 2,488 | 2,009 | 2,006 |
| | Raíz | 2,757 | 2,458 | 1,596 | 1,694 | 1,874 | 2,176 | 2,108 | 2,033 | 1,890 |
| S (%) | Hojas | 1,031 | 1,500 | 2,875 | 2,748 | 2,500 | 2,812 | 2,187 | 4,187 | 2,156 |
| | Bulbo | 2,028 | 2,834 | 1,681 | 1,756 | 1,881 | 1,775 | 1,512 | 2,040 | 1,668 |
| | Raíz | 1,656 | 3,812 | 2,812 | 2,531 | 2,625 | 2,500 | 3,593 | 2,218 | 1,937 |
| Mg (%) | Hojas | 0,527 | 0,452 | 0,316 | 0,323 | 0,558 | 0,196 | 0,099 | 0,178 | 0,200 |
| | Bulbo | 0,305 | 0,185 | 0,234 | 0,130 | 0,436 | 0,419 | 0,353 | 0,122 | 0,123 |
| | Raíz | 0,230 | 0,157 | 0,283 | 0,168 | 0,470 | 0,368 | 0,269 | 0,167 | 0,117 |
| Fe (ppm) | Hojas | 199,733 | 220,416 | 465,450 | 494,116 | 474,125 | 460,358 | 428,900 | 264,933 | 260,166 |
| | Bulbo | 78,558 | 236,741 | 285,516 | 436,158 | 497,733 | 472,466 | 286,325 | 123,591 | 121,033 |
| | Raíz | 86,825 | 314,925 | 329,000 | 323,025 | 388,625 | 426,133 | 686,341 | 459,141 | 424,550 |
| Mn (ppm) | Hojas | 77,708 | 50,908 | 86,900 | 146,250 | 135,500 | 395,791 | 306,850 | 301,090 | 295,670 |
| | Bulbo | 40,469 | 16,366 | 42,333 | 30,033 | 142,041 | 290,575 | 95,890 | 76,340 | 65,980 |
| | Raíz | 43,608 | 19,583 | 46,975 | 81,875 | 172,175 | 315,400 | 320,808 | 79,43 | 70,281 |
| Zn (ppm) | Hojas | 110,700 | 134,583 | 350,958 | 193,166 | 393,691 | 126,158 | 153,833 | 241,258 | 344,741 |
| | Bulbo | 102,666 | 81,633 | 254,508 | 194,266 | 415,241 | 274,300 | 190,716 | 167,616 | 147,358 |
| | Raíz | 51,683 | 69,741 | 49,458 | 80,741 | 186,075 | 213,150 | 261,525 | 260,300 | 343,325 |
| Na (ppm) | Hojas | 472,858 | 410,283 | 326,291 | 205,233 | 182,958 | 159,750 | 74,333 | 73,858 | 57,058 |
| | Bulbo | 294,466 | 222,383 | 141,183 | 134,383 | 136,150 | 247,383 | 114,266 | 85,108 | 74,633 |
| | Raíz | 292,850 | 244,500 | 374,375 | 282,208 | 325,900 | 406,125 | 418,808 | 326,966 | 269,016 |

*Momento en que se hizo el trasplante

Anexo C. Peso seco y área foliar registrados en plantas de cebolla de bulbo evaluadas en el presente estudio

| | | Días después de siembra | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 30 | 50* | 65 | 80 | 95 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Peso seco (g) | Hojas | 1,094 | 1,588 | 0,253 | 0,383 | 1,601 | 2,235 | 4,963 | 6,180 | 4,716 |
| | Bulbo | 0,946 | 0,434 | 0,247 | 0,270 | 0,901 | 0,868 | 3,020 | 10,210 | 12,093 |
| | Raíz | 0,001 | 0,024 | 0,062 | 0,056 | 0,113 | 0,237 | 0,145 | 0,222 | 0,392 |
| Área foliar (cm) | | 41,403 | 30,120 | 49,676 | 103,976 | 227,042 | 550,857 | 714,363 | 905,000 | 613,348 |

*Momento en que se hizo el trasplante

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

La reproducción, publicación o distribución de cualquier material de este documento están estrictamente prohibidas, excepto lo que el usuario pueda tomar para su uso personal y no comercial. No podrá usar técnicas de extracción de datos u otros dispositivos automatizados o programas para catalogar, descargar, almacenar o de cualquier otra forma reproducir, almacenar o distribuir el contenido o parte del contenido disponible en este documento sin la debida autorización de la Editorial UPTC.

Las ideas y observaciones consignadas por los autores están bajo su responsabilidad y no interpretan necesariamente las opiniones y políticas de la Editorial UPTC. La mención de productos o firmas comerciales en el libro no implica recomendación o apoyo por parte de la Editorial UPTC o los autores; el uso de tales productos debe ceñirse a las recomendaciones del personal autorizado.