

## 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

---

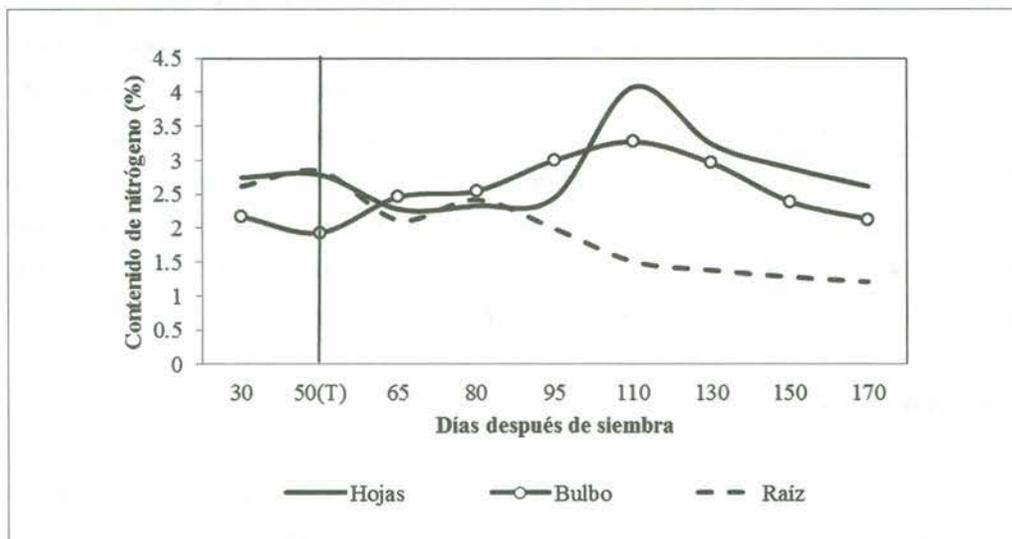
'Optima' (Pôrto et al., 2006) y 'Superex' (Pôrto et al., 2007), el K fue el nutriente más absorbido, seguido del N y el Ca. De igual manera, Vidigal, et al. (2010) manifiestan que el S, el P y el Mg fueron absorbidos por las plantas en cantidades menores que los nutrientes mencionados anteriormente. 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>-1</sup>), 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 3,70 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En los bulbos, la acumulación máxima fue de 100,37 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 4,80 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Cuando estos autores utilizaron el sistema de trasplante, la acumulación máxima de N en la planta completa fue de 211,75 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción en la planta de 14,86 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En los bulbos, la máxima absorción de N fue de 106,63 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 17,22 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>. Estos autores también mencionan que el rendimiento máximo del bulbo (46,02 t ha<sup>-1</sup>) y el peso del bulbo promedio (197,8 g) se obtuvieron con la adición de 120 kg N ha<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>. Rana y Sharma (1994) en India, encontraron que la aplicación 120 kg N ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) se obtuvo con un espaciamiento de 12 cm entre plantas y con la adición de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En Pakistán, Ghaffoor, Jilani, Khaliq y Waseem (2003) encontraron que el fertilizante N-P-K 150-100-50 kg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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%.

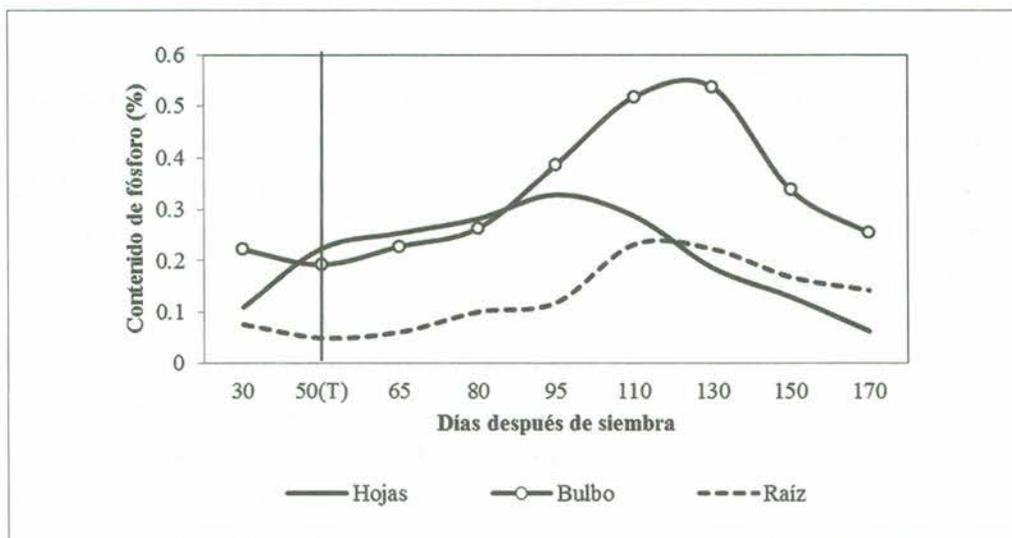


Figura 4.2. Contenido de fósforo en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

---

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  $^{32}\text{P}$  (fósforo marcado) a una de las dos hojas primarias maduras, el  $^{32}\text{P}$  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<sup>-1</sup> a los 48 DDT, entre 1,88 y 3,67 a los 68 días y entre 7,45 y 9,05 kg P ha<sup>-1</sup> a los 108 DDT (al momento de cosecha). Por su parte, los bulbos extraerán entre 6,73 y 12,62 kg P ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 0,78 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En los bulbos, la máxima absorción de P fue de 23,97 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 0,96 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 1,68 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En bulbos, la máxima acumulación de P fue de 28,0 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa de absorción de P de 8,36 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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).

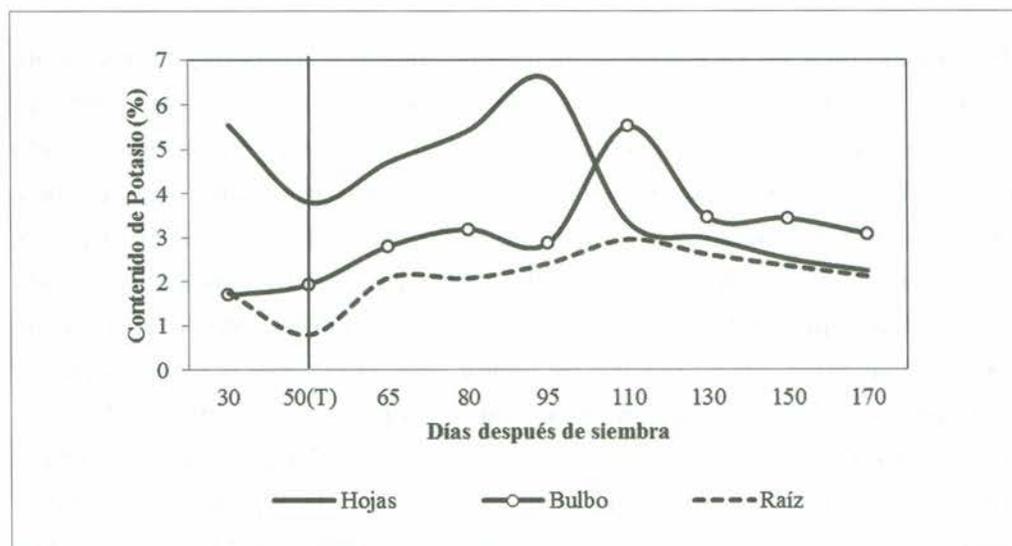


Figura 4.3. Contenido de potasio en hojas, bulbo y raíces durante el ciclo del cultivo de plantas de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. híbrido 'Yellow Granex') en el trópico alto.

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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>.

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<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 4,64 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; mientras que en

---

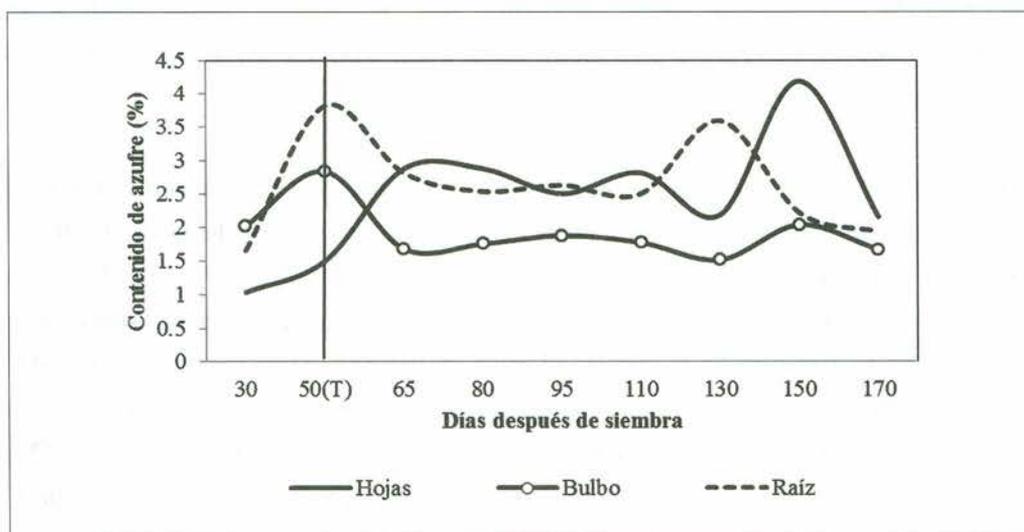
los bulbos la máxima acumulación fue de 103,06 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa de absorción de 4,61 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Estos valores se encontraron a los 101 DDS en bulbos y en la planta entera, y a los 94 DDS en la parte aérea. Sin embargo, cuando se utilizó el trasplante, la acumulación máxima de K en la planta entera fue de 228, 25 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa de acumulación de 13,07 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En los bulbos, la acumulación máxima de K fue de 121,76 mg planta<sup>-1</sup>, con una tasa de absorción de 48,26 mg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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).

---

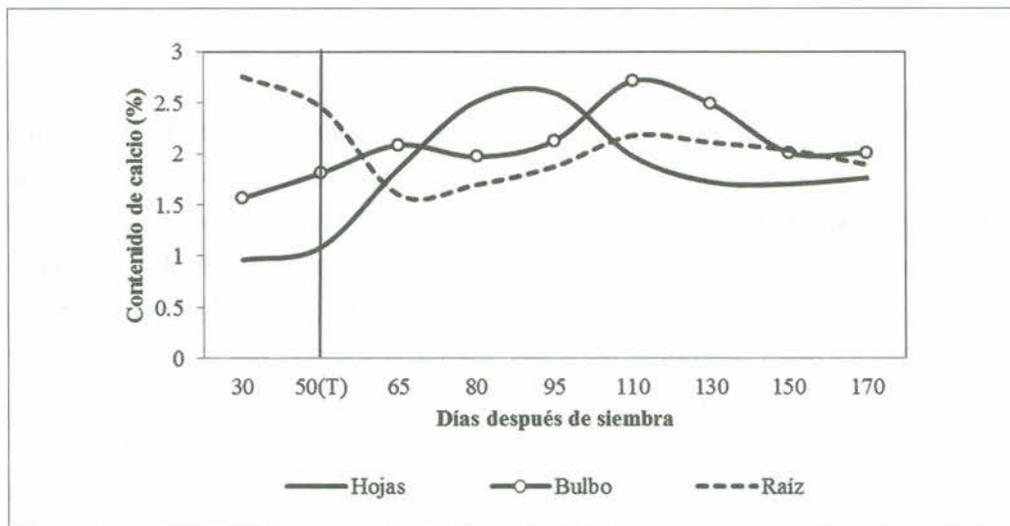
Haag et al. (1970) mencionan que en plantas de cebolla cultivadas en las condiciones de Brasil, el contenido de S en hojas aumentó lentamente de 0,51 a 0,75% en hojas y de 0,36 a 0,55% en bulbos, en el lapso de 70 a 175 días de edad de las plantas (DDE) y disminuyó a los 190 DDE a valores de 0,54 en 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,

---

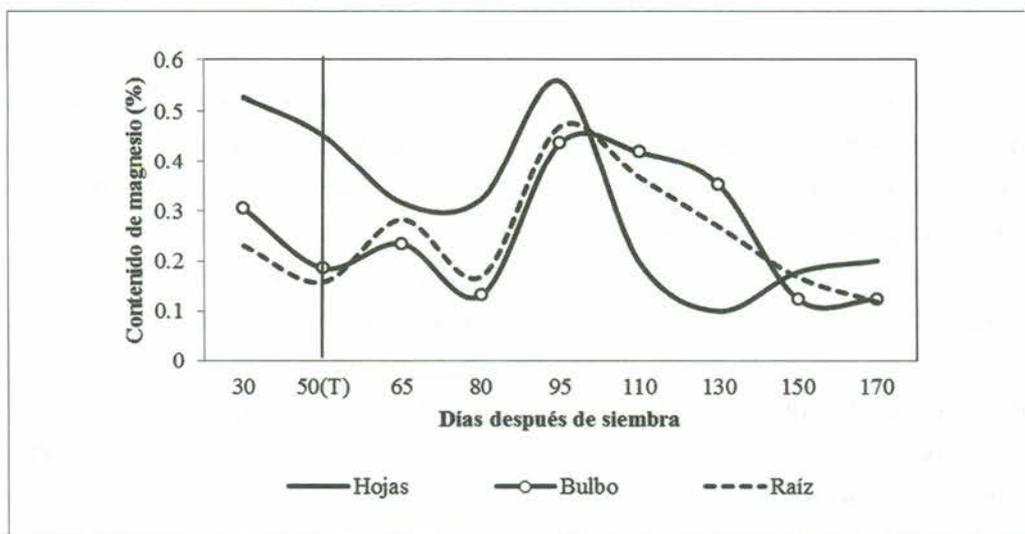
registrándose el 85% del Ca total acumulado por la planta. El periodo de mayor demanda de Ca en la parte aérea se presentó entre 70 y 110 DDS, mientras que en los bulbos fue entre 90 y 130 DDS. Al final del ciclo (150 DDS), la parte aérea y el bulbo contenían 47 y 43%, respectivamente, del Ca acumulado 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  $\text{kg ha}^{-1}$ , 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  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **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.

---

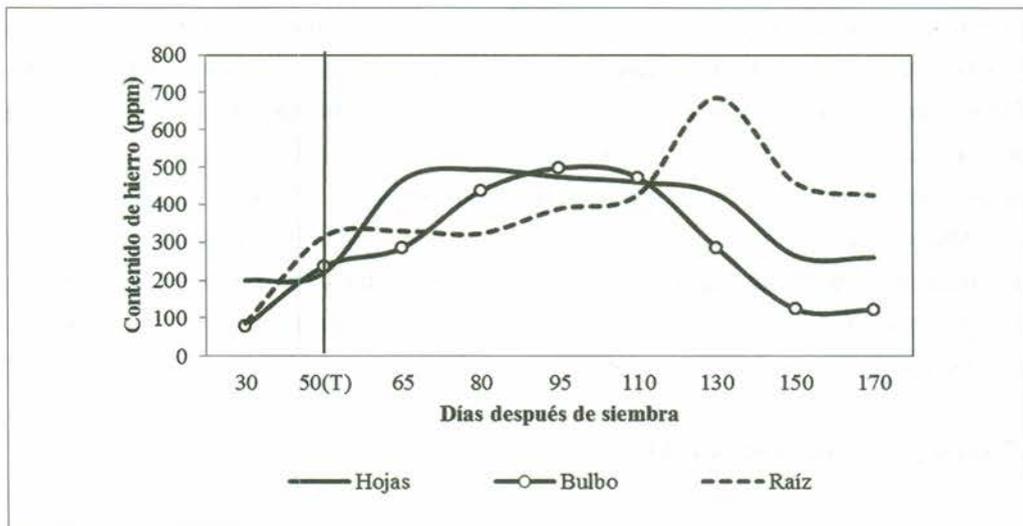
Haag et al. (1970) encontraron que el contenido de Mg asciende en hojas y bulbos hasta los 85 DDE y después este valor presenta poca variación en las hojas, pero desciende en los bulbos hasta los 190 DDE. Entre 70 y 85 DDE, el contenido de Mg ascendió de 0,33 a 0,43% en hojas, mientras que en bulbos, 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>.

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<sup>-1</sup>, con una tasa de absorción de 0,41 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, mientras que en los bulbos, la máxima absorción alcanzó 8,14 µg planta<sup>-1</sup> con una tasa de absorción de 0,45 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> con una tasa de absorción de Mg de 1,0 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En los bulbos, la máxima absorción fue de 8,8 µg planta<sup>-1</sup> con una tasa de absorción de 2,41 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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.

---

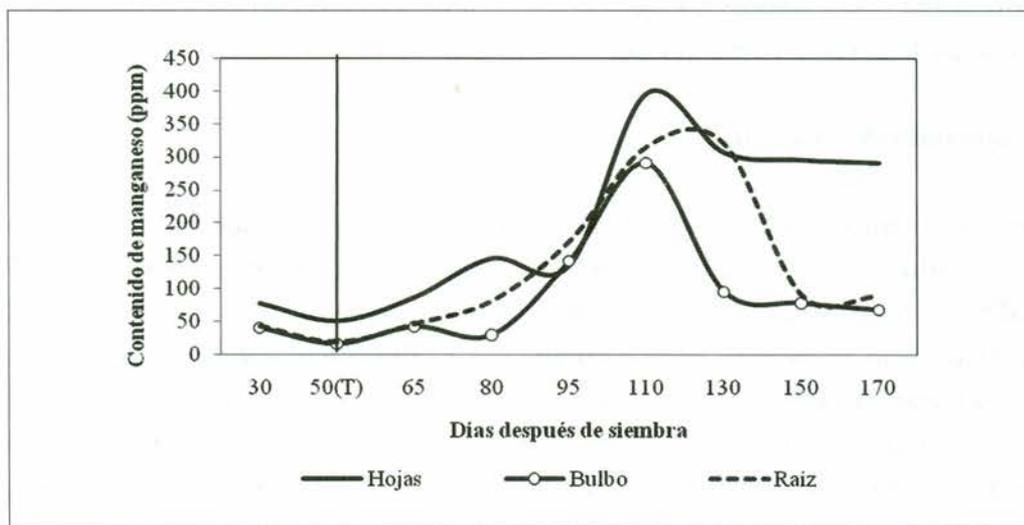
El Fe presenta en las plantas una movilidad intermedia y se ha encontrado que la relación de su contenido en el floema/xilema es de 15,7 (9,4/0,60  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ). El ciclaje de nutrientes minerales puede ser importante para compensar, al menos parcialmente, la distribución heterogénea de nutrientes 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  $\text{ha}^{-1}$ , 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  $\text{ha}^{-1}$ . 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).

---

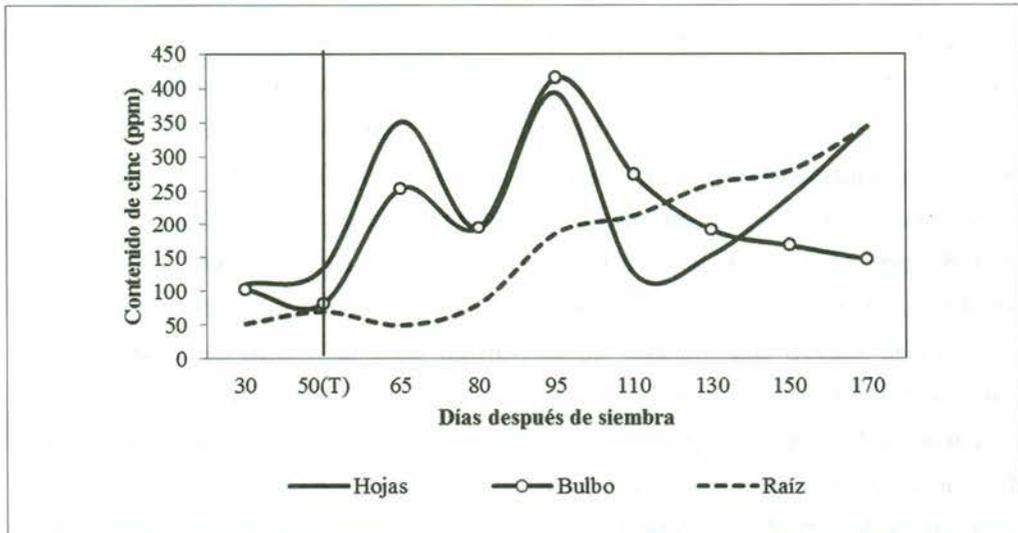
En plantas de cebolla de bulbo cultivadas en Brasil, Menezes Junior et al. (2013) reportan una extracción, en kg Mn ha<sup>-1</sup> en el rango entre 3,13 a 5,24 a los 48 DDT; entre 9,97 y 22,73 a los 68 DDT; y entre 20,49 y 43,11 a los 108 DDT. En los bulbos, a los 146 DDT, momento en que se realizó la cosecha, la extracción estuvo entre 25,36 y 109,65 kg de Mn ha<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, con una tasa de absorción de Mn de 66,07 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En bulbos, la máxima absorción de ese nutriente fue de 270,17 µg planta<sup>-1</sup> y la tasa de absorción fue de 22,8 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> en plantas enteras, con una tasa de absorción del elemento de 99,3 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En bulbos, la acumulación máxima de Mn fue de 435,01 µg planta<sup>-1</sup> con una tasa de absorción de 178,68 µg Mn planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, con una tasa máxima de absorción de 14,02 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, con una tasa de acumulación de 35,73 µg planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; y en los bulbos estos valores fueron de 394,40 µg planta<sup>-1</sup> para la acumulación máxima, con una tasa de acumulación de

---

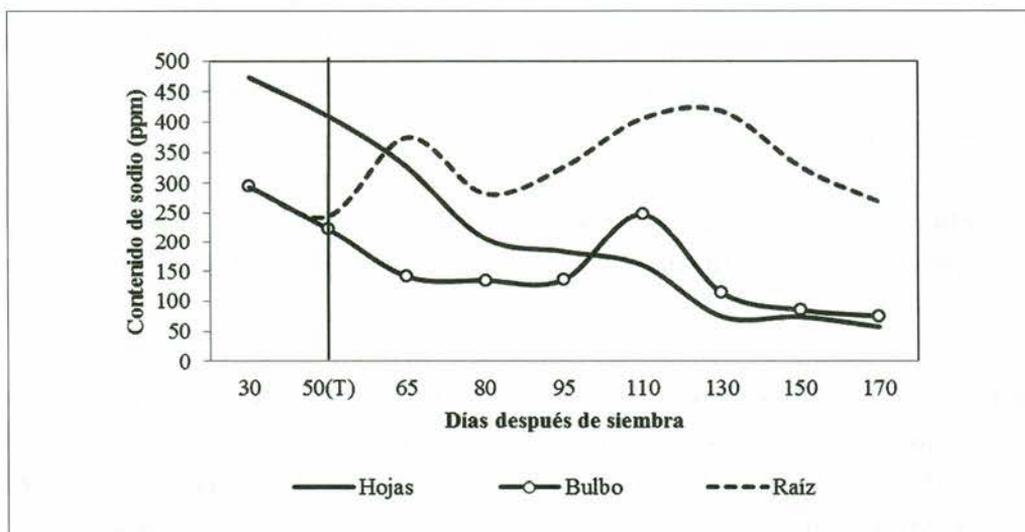
112,11  $\mu\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Estos valores se manifestaron a los 115 DDS en plantas completas y en los bulbos, y a los 101 DDS, en la parte aérea. De esta manera, los autores determinaron que la acumulación del Zn fue creciente durante casi todo el ciclo del cultivo.

### **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<sup>-1</sup>, 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 ( $^{32}\text{P}$ ) 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* (2<sup>nd</sup> 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.