
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.

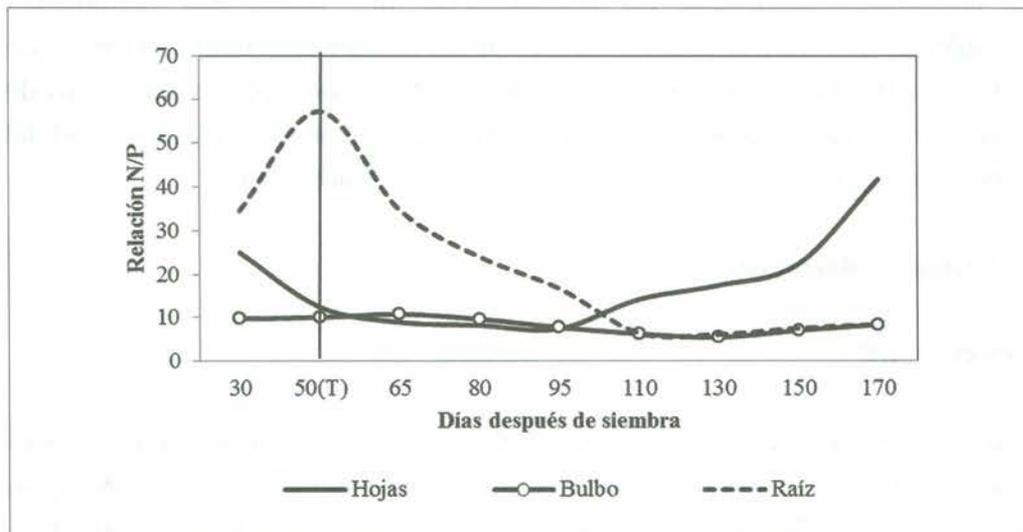


Figura 5.1. Relación N/P registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

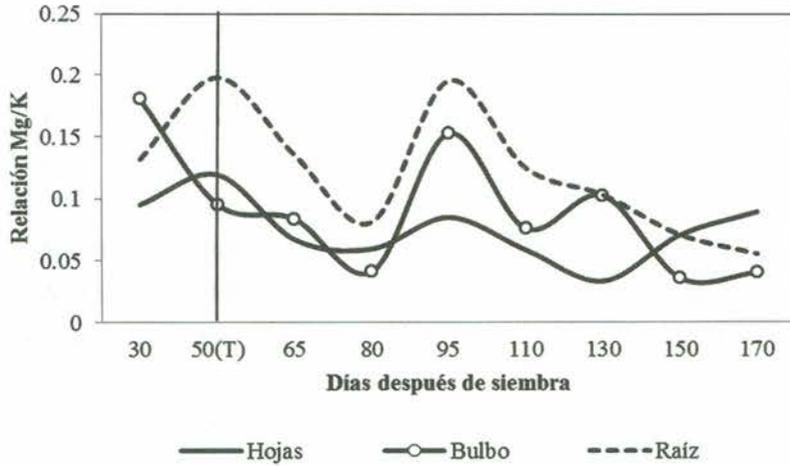


Figura 5.2. Relación Mg/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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).

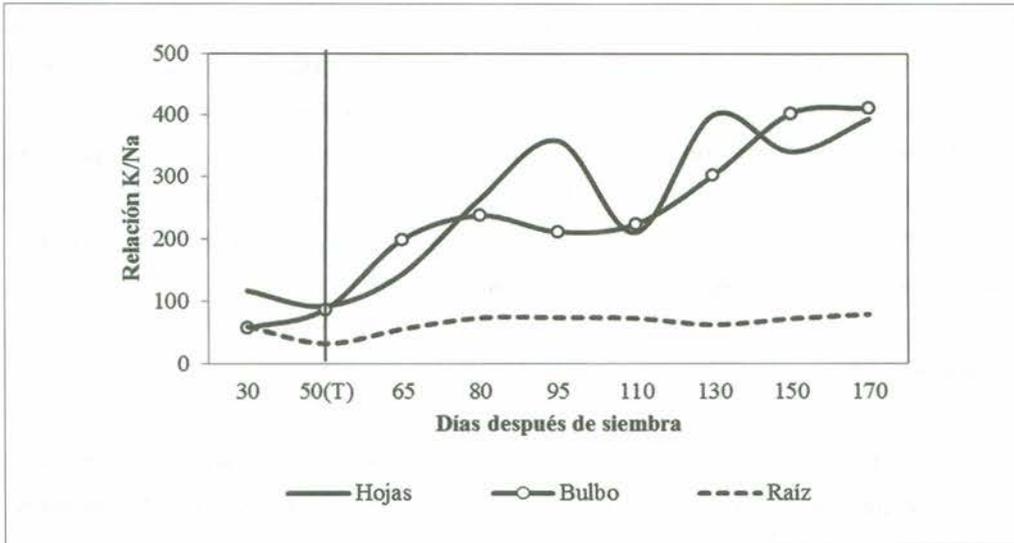


Figura 5.3. Relación K/Na registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

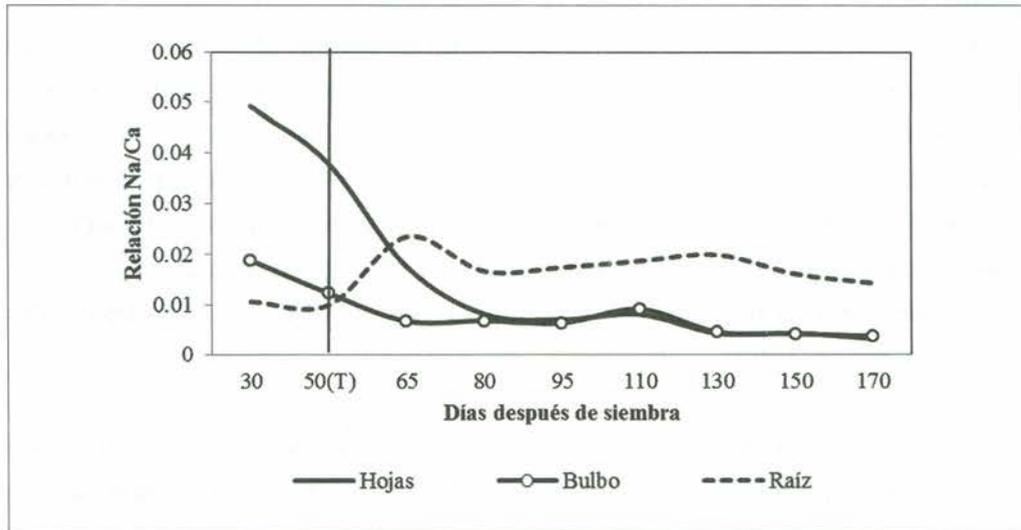


Figura 5.4. Relación Na/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

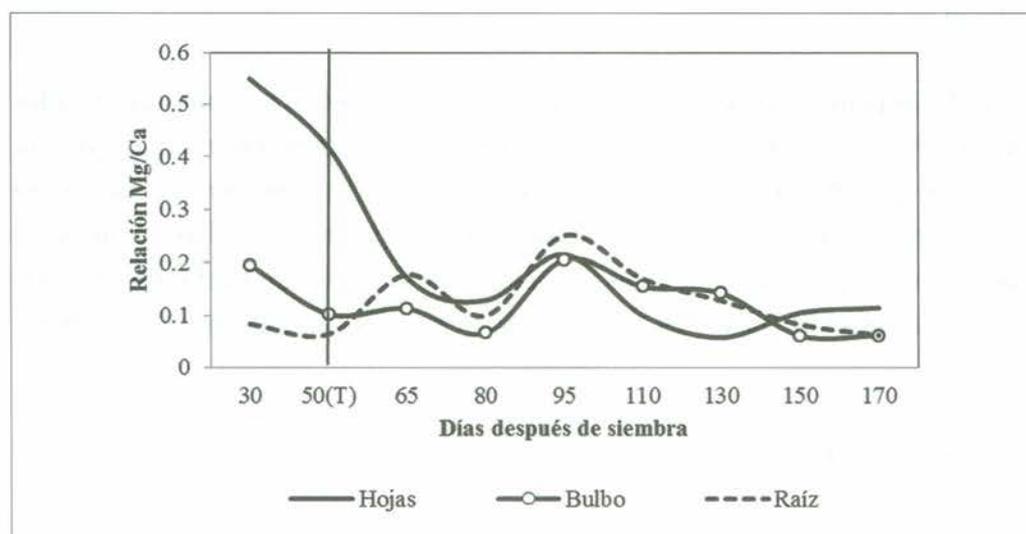


Figura 5.5. Relación Mg/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

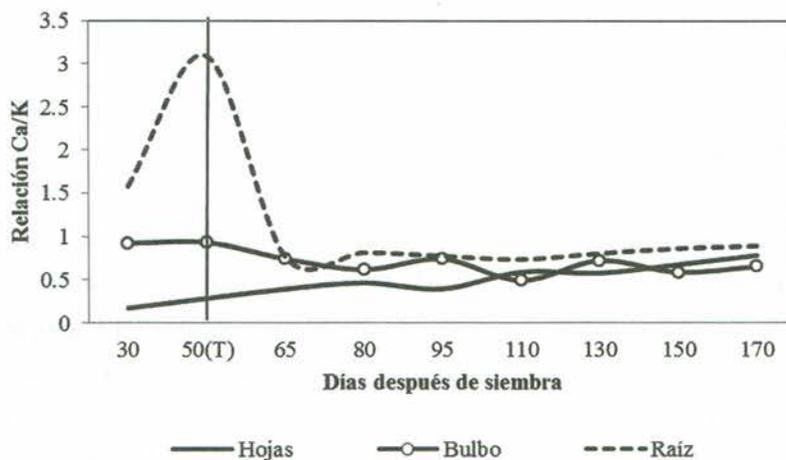


Figura 5.6. Relación Ca/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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 anomalías 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).

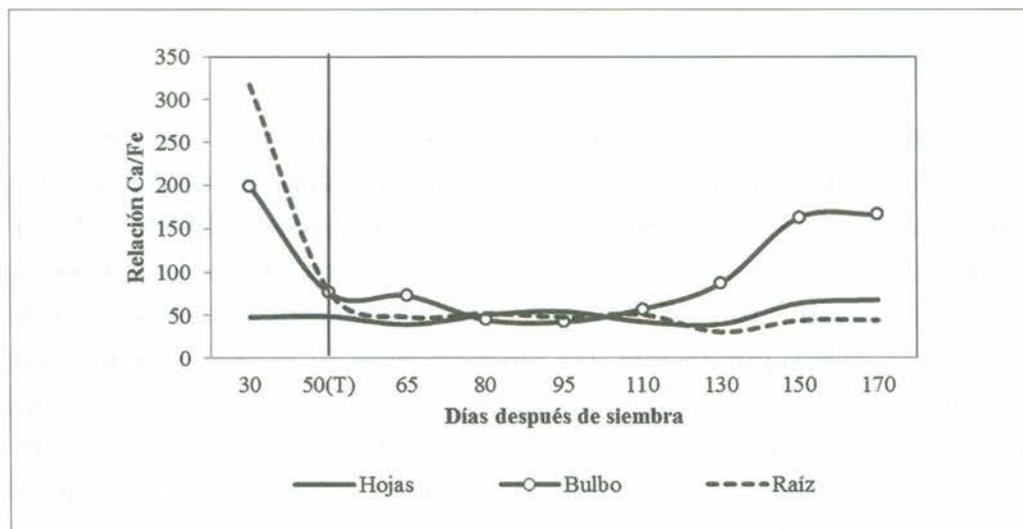


Figura 5.7. Relación Ca/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

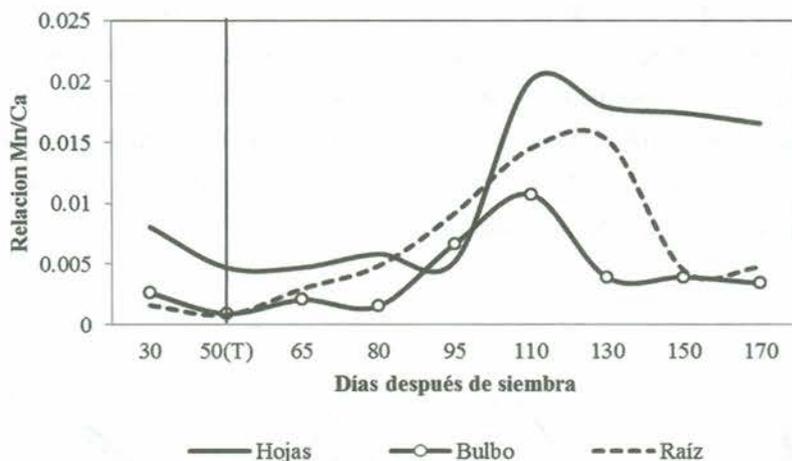


Figura 5.8. Relación Mn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

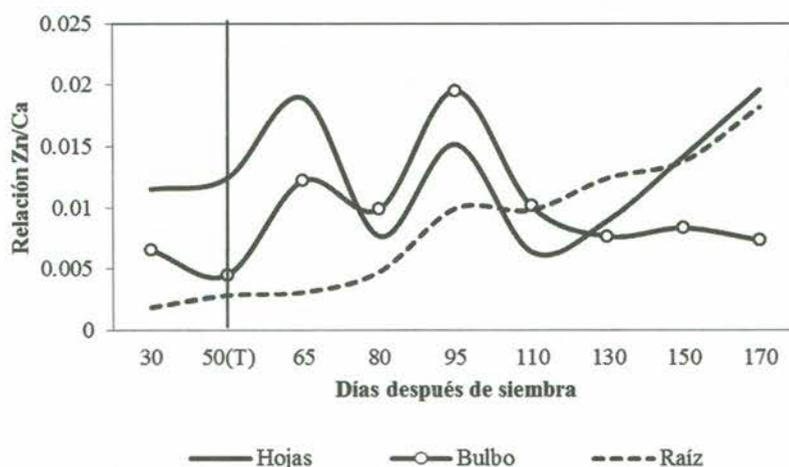


Figura 5.9. Relación Zn/Ca registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

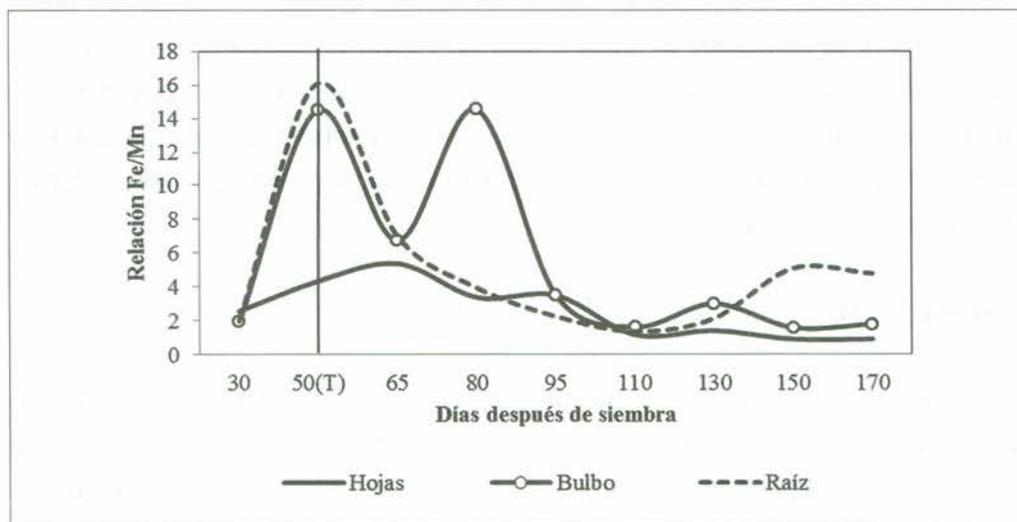


Figura 5.10. Relación Fe/Mn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

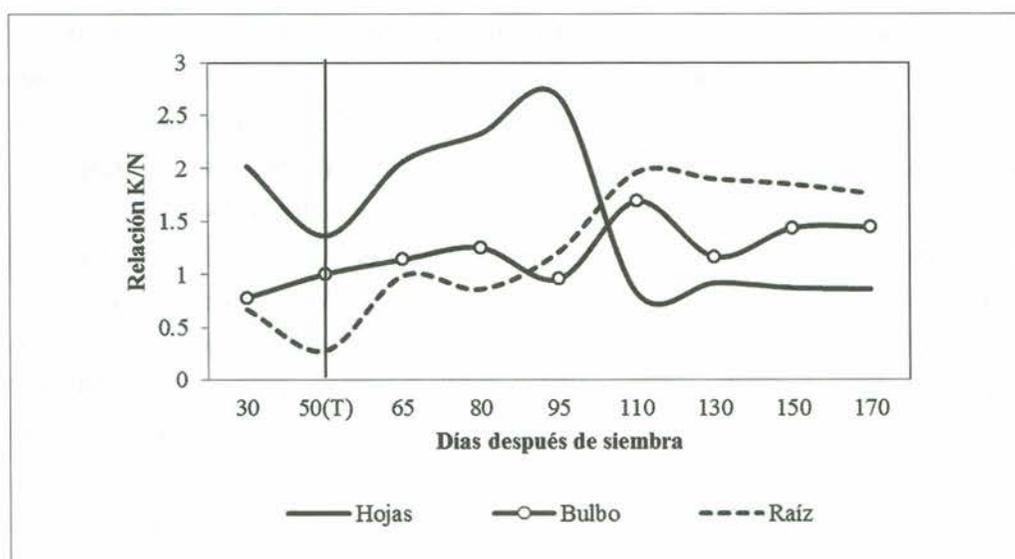


Figura 5.11. Relación K/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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 (g kg⁻¹/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 (g kg⁻¹/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.

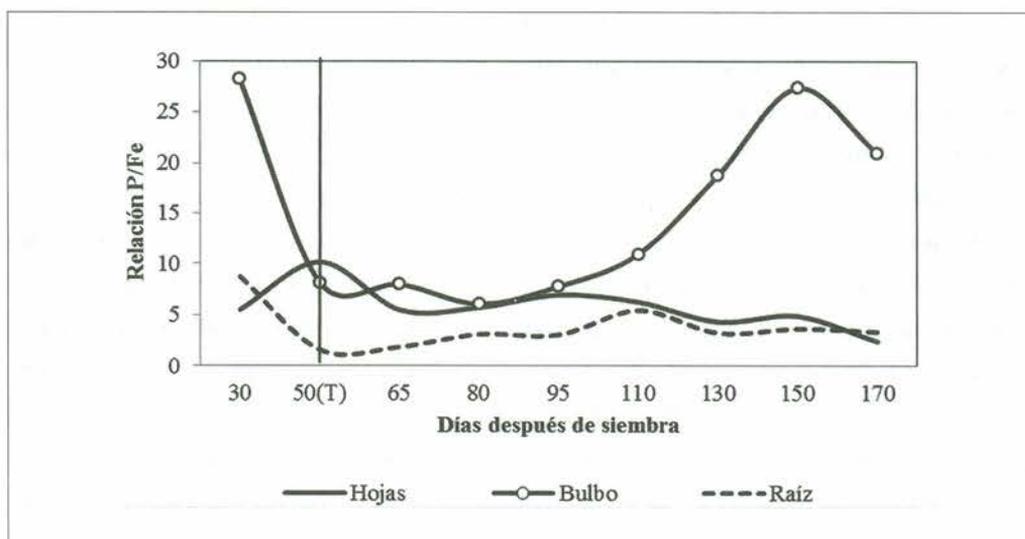


Figura 5.12. Relación P/Fe registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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).

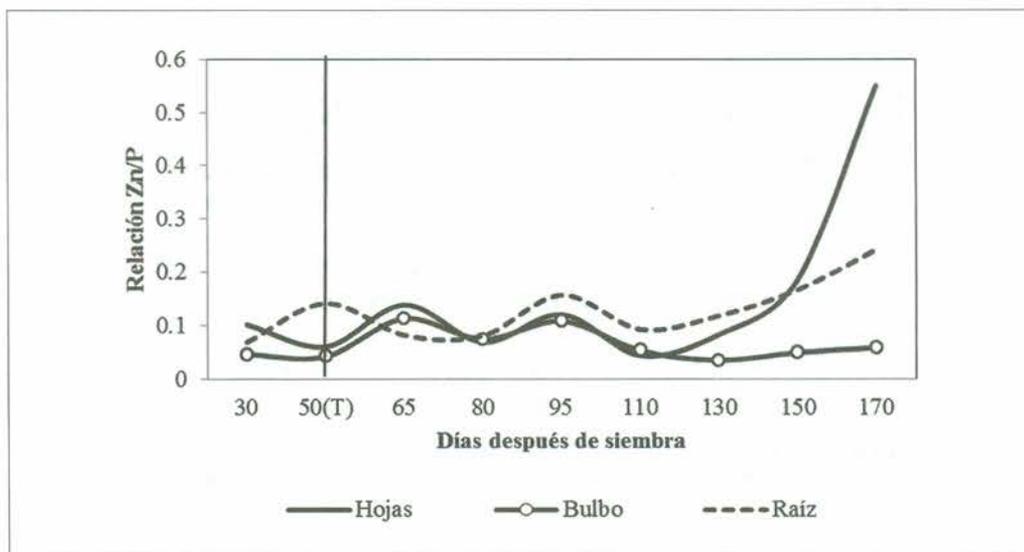


Figura 5.13. Relación Zn/P registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

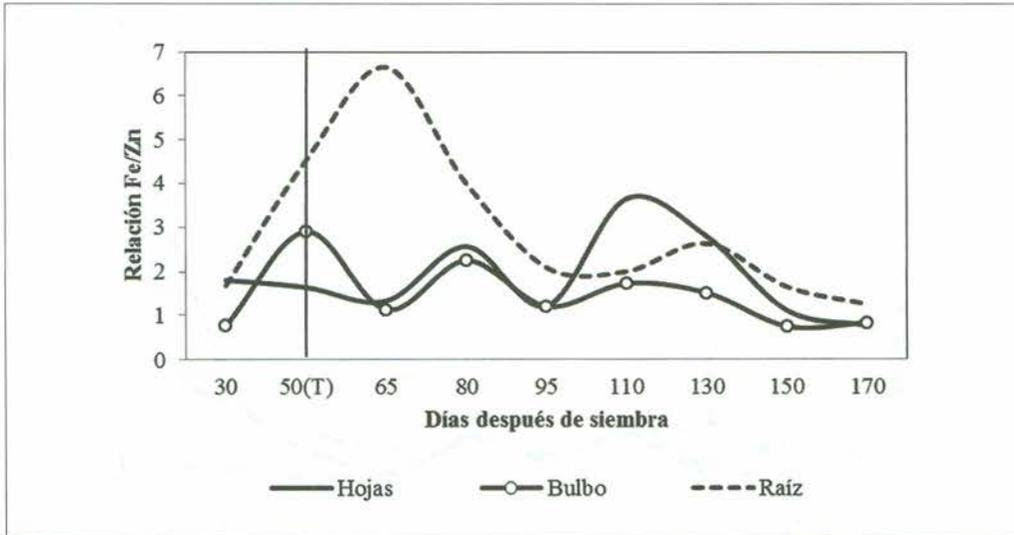


Figura 5.14. Relación Fe/Zn registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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).

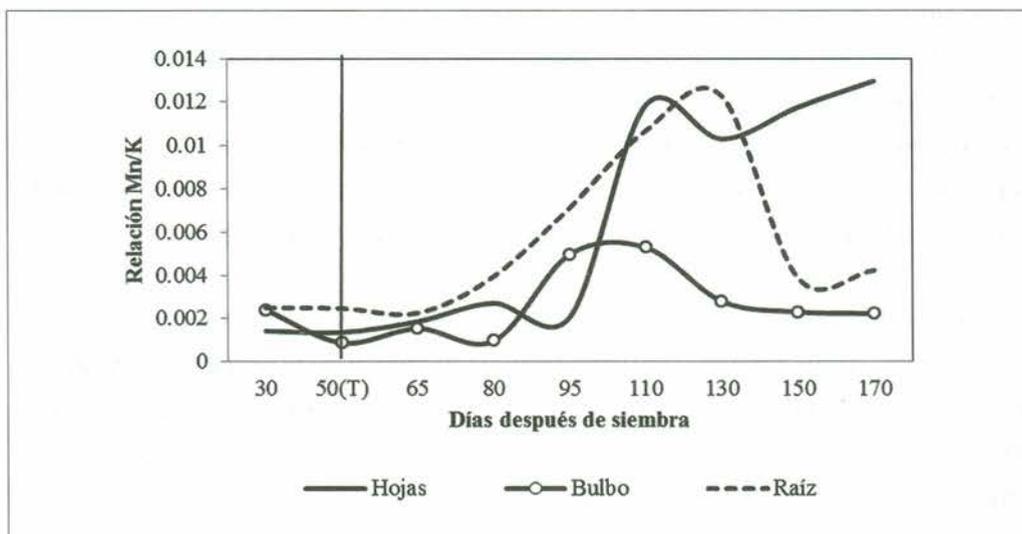


Figura 5.15. Relación Mn/K registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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).

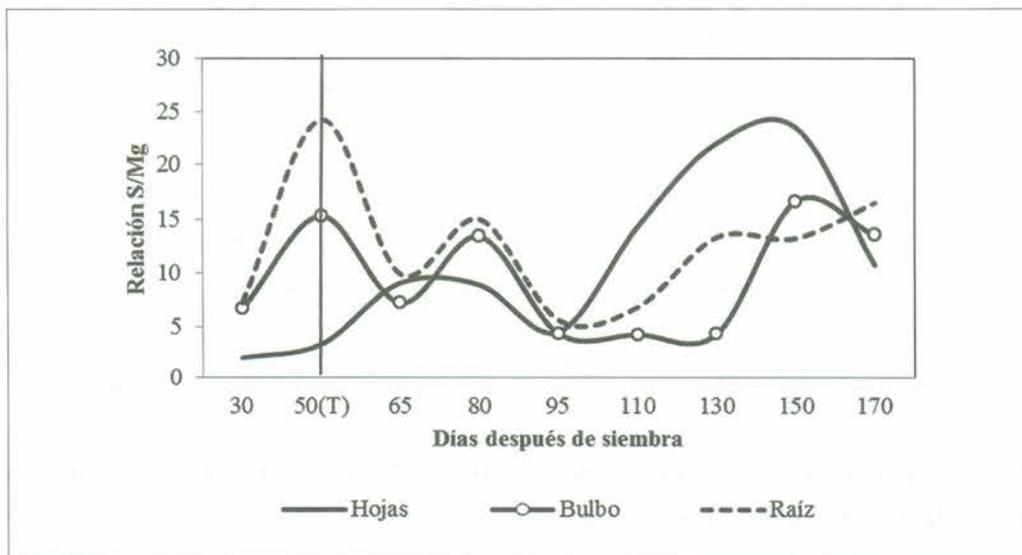


Figura 5.16. Relación S/Mg registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.

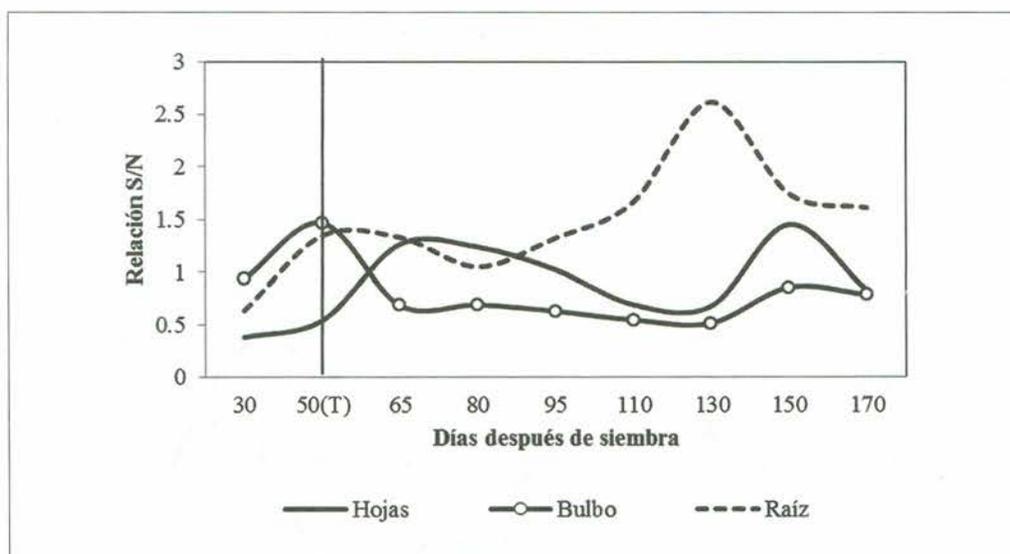


Figura 5.17. Relación S/N registrada en plantas de cebolla (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') cultivadas en condiciones de campo en el trópico alto.

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.