

La evolución de las extracciones de nutrientes a lo largo del ciclo se presentan en las figuras 4.53 a 4. 63.

Las exportaciones de nitrógeno en el sistema altamente productivo (figura 4.56) no superan los 250 kg N ha⁻¹ aunque las extracciones pueden rozar los 300 kg N ha⁻¹ .

La recuperación aparente de nitrógeno según la ecuación 4.3 sería de 0,21 en 1992 y de 0,29 en 1994.

Las necesidades máximas diarias se sitúan en 4,7; 5,7 y 6,8 kg N ha⁻¹ día⁻¹ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92 respectivamente y como media considerando los tres cultivares citados en 5,7 kg N ha⁻¹ día⁻¹ para Valenciana de Grano'94 en 6,3 kg N ha⁻¹ día⁻¹.

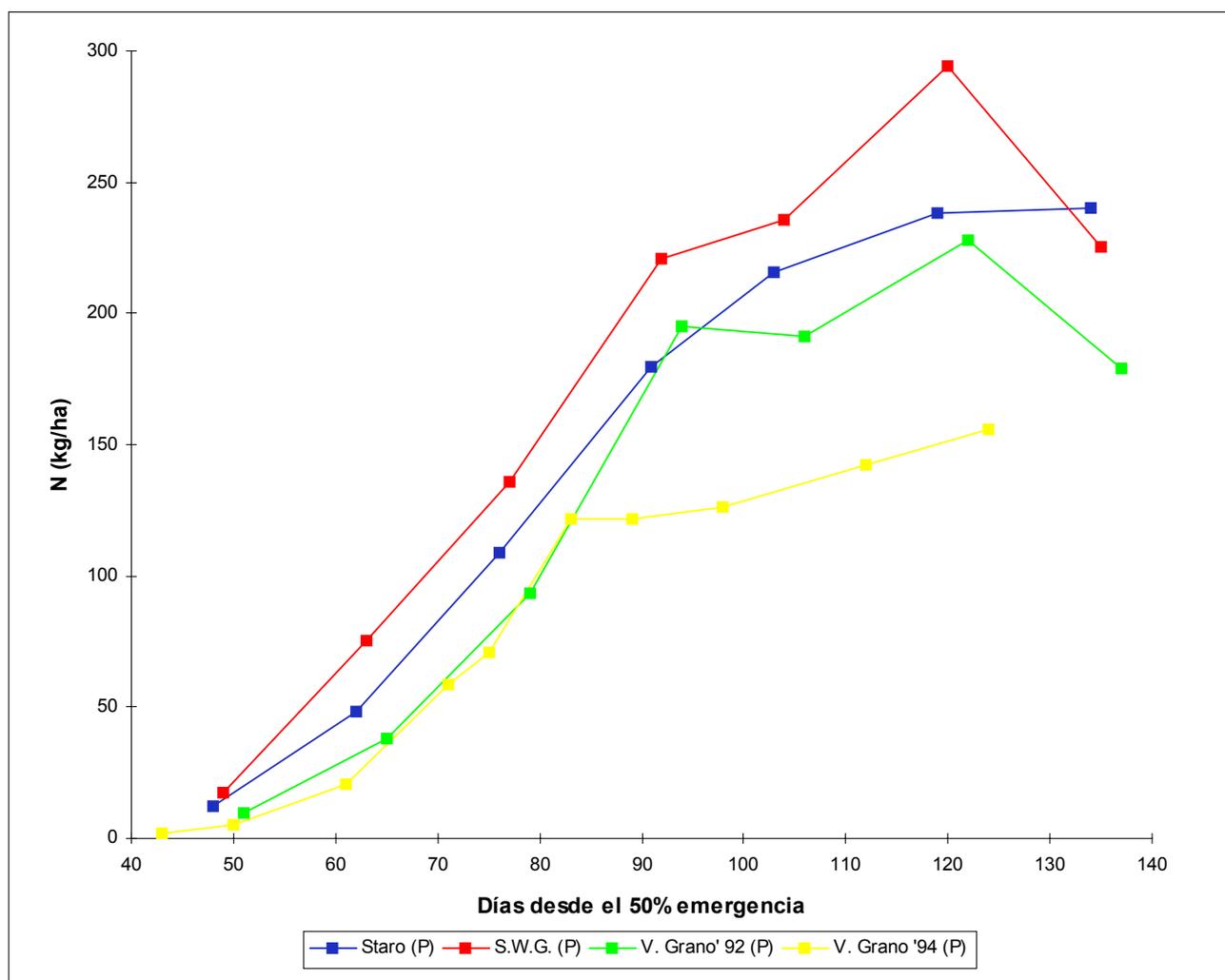


Figura 4.56. Evolución de los contenidos de nitrógeno en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

El incluir las raíces en el cálculo de las exportaciones de nitrógeno por la planta (figura 4.57), supone un incremento en cada muestreo respecto a las exportaciones considerando únicamente la parte aérea de la planta (figura 4.56) de 2 -3 kg N ha⁻¹ en Valenciana de Grano, 1 - 5 kg N ha⁻¹ en Staro y de 1 -5 kg N ha⁻¹ en Southport White Globe, incrementos que en valor absoluto son prácticamente despreciables.

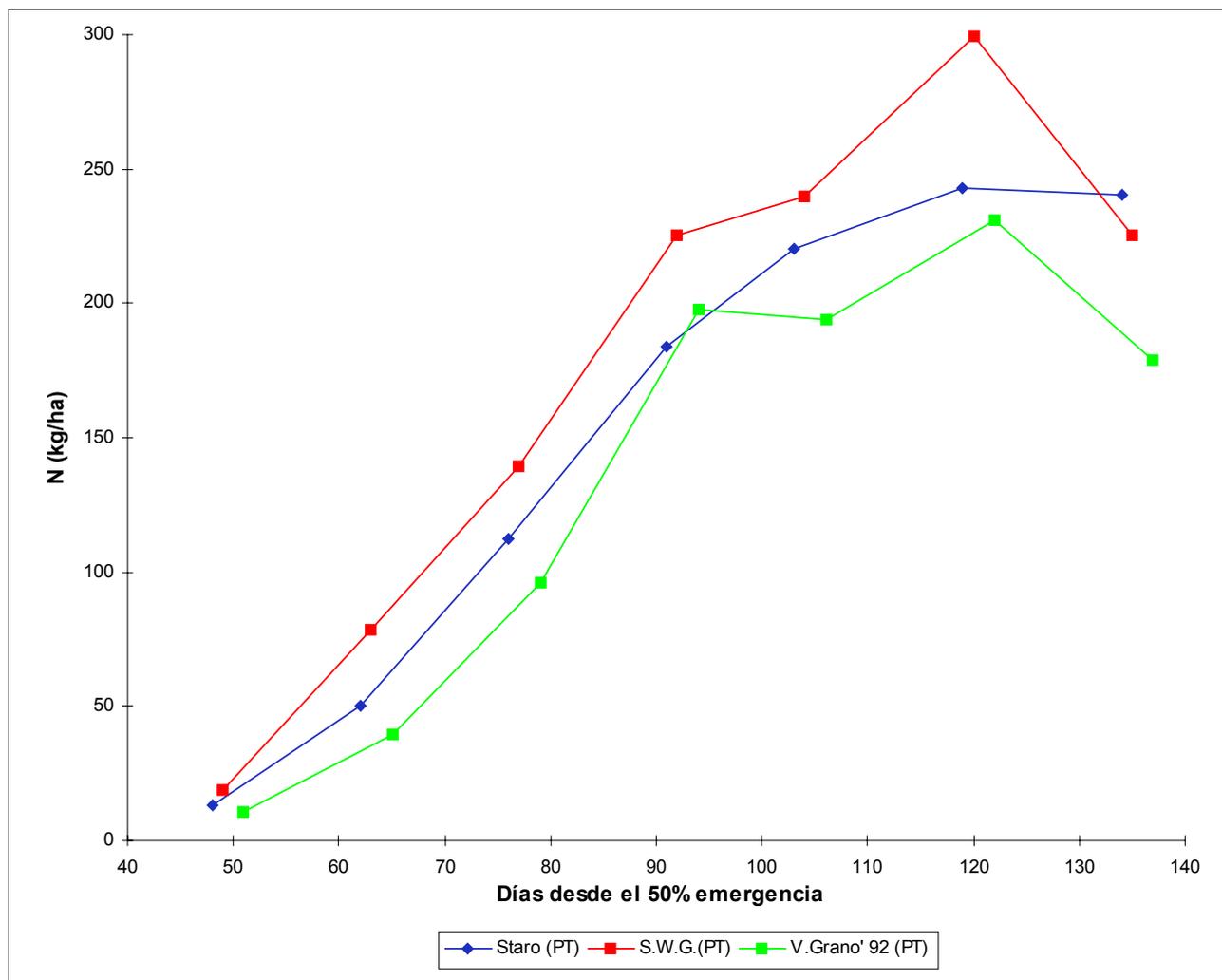


Figura 4.57. Evolución de los contenidos de nitrógeno en la planta entera, incluyendo las raíces (PT), a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano (V.Grano'92) . El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las exportaciones de fósforo en recolección (figura 4.58) son muy similares entre cultivares situándose entre 35 y 38 kg P ha⁻¹. Incluso y a diferencia de lo que ocurría con el fósforo son similares en Valenciana de Grano en los dos años analizados bajo riego por goteo. La menor producción de V. Grano en 1994 respecto a 1992 (cuadros 6.30 y 2.69) se ve compensada por mayores contenidos en bulbo (figura 4.48).

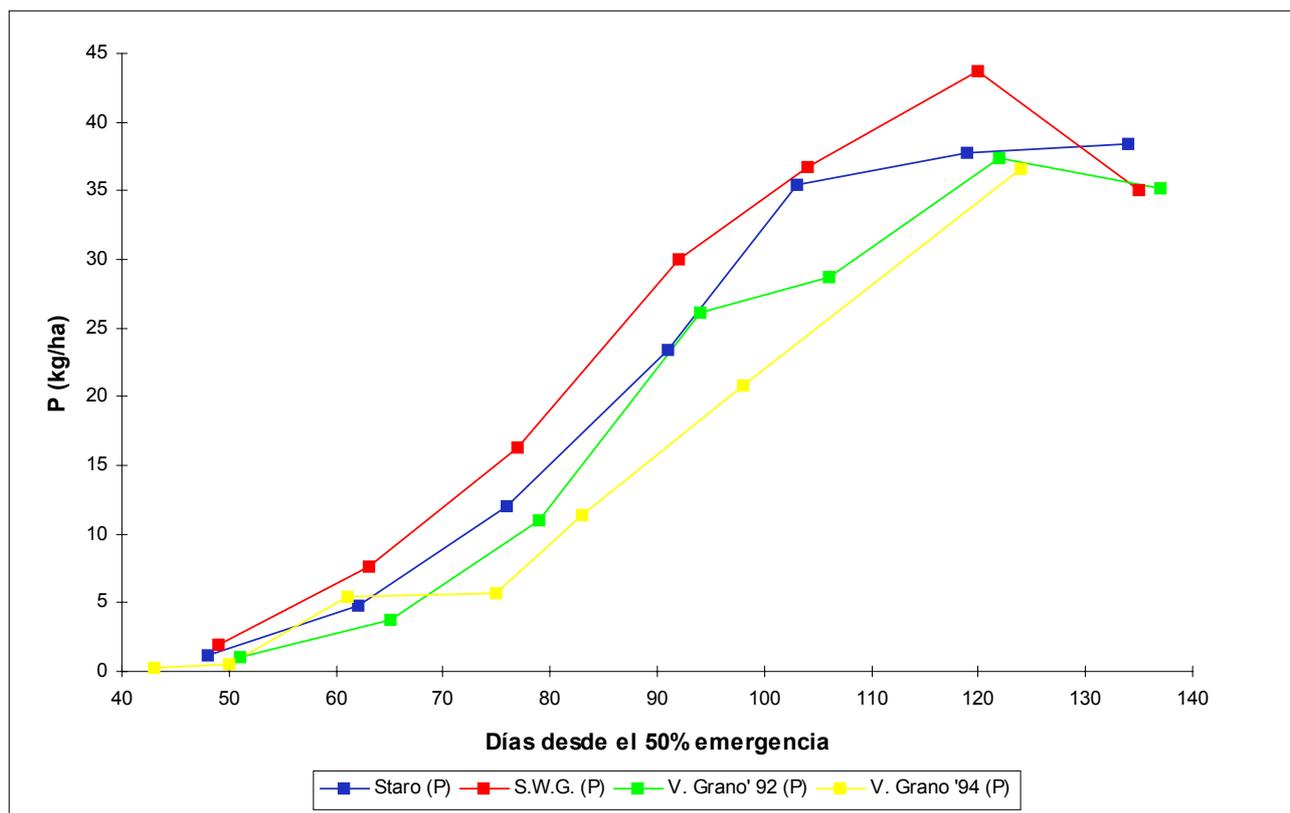


Figura 4.58. Evolución de los contenidos de fósforo en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las necesidades máximas diarias de fósforo se sitúan como media en 0,9 kg P ha⁻¹ día⁻¹ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92, y en 0,7 kg P ha⁻¹ día⁻¹ para Valenciana de Grano'94.

Las extracciones de potasio (figura 4.59) siguen una curva mimética en los tres cultivares de 1992 y hasta los 80 días tras el 50% de emergencia en 1994. Las necesidades máximas diarias de potasio se sitúan en 4,3; 4,6 y 6,6 kg K ha⁻¹ día⁻¹ para para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92 respectivamente, y como media en 5,2 kg K ha⁻¹ día⁻¹; para Valenciana de Grano'94 en 10,6 kg K ha⁻¹ día⁻¹.

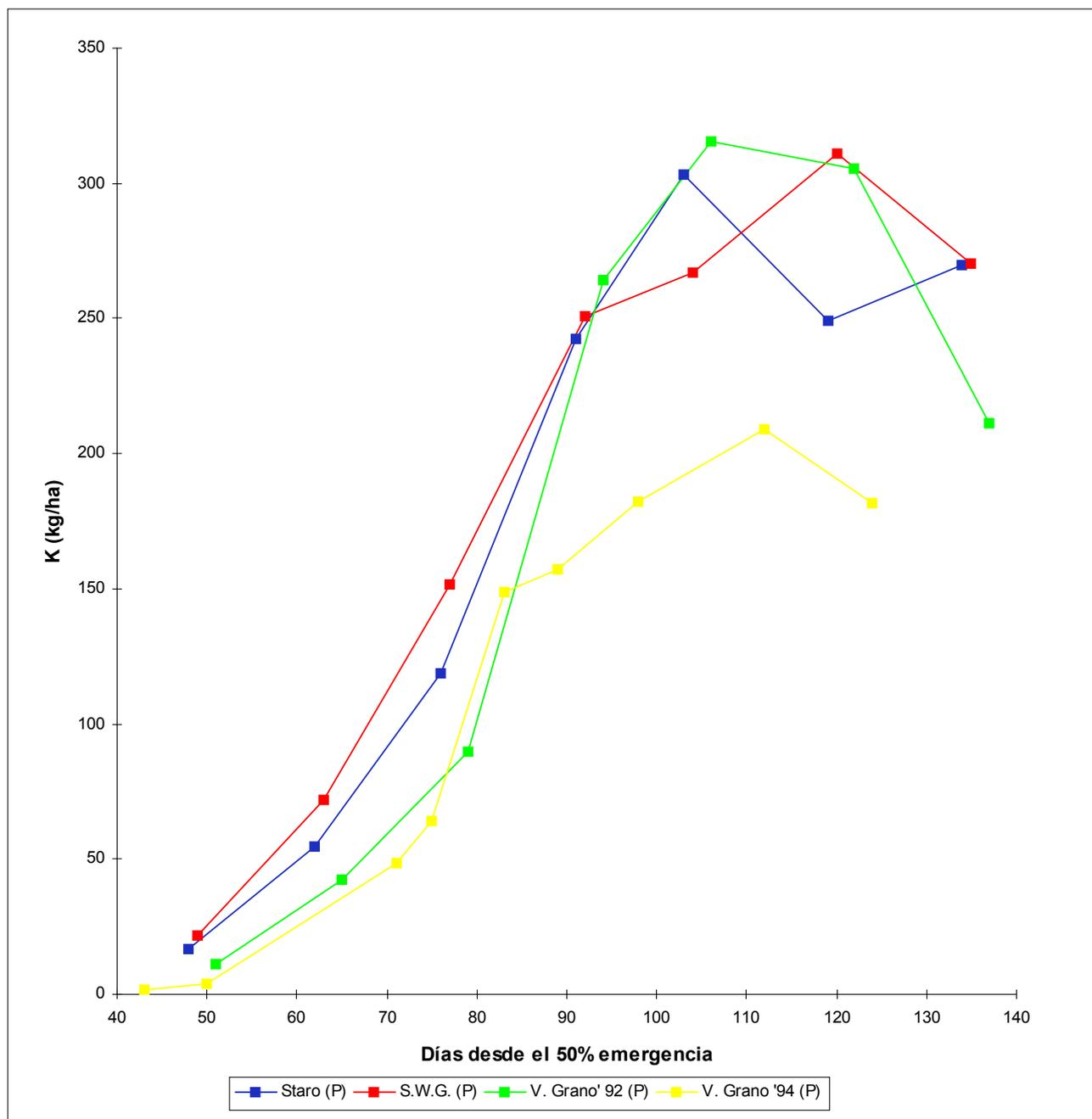


Figura 4.59. Evolución de los contenidos de potasio en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las diferencias en crecimiento entre las campañas de 1992 y 1994 en V.Grano (figuras 2.20 y 6.20) , próxima la bulbificación , se traducen en diferencias en la evolución de los contenidos de Ca y Mg a partir de este momento (figuras 4.60 y 4.61). Cabe destacar el importante contenido de Ca en hoja en V.Grano en el ensayo de 1992 a partir de bulbificación (figuras 2.22 y 6.22) respecto a los otros cultivares (figura 4.60), calcio que no es trasladado al bulbo.

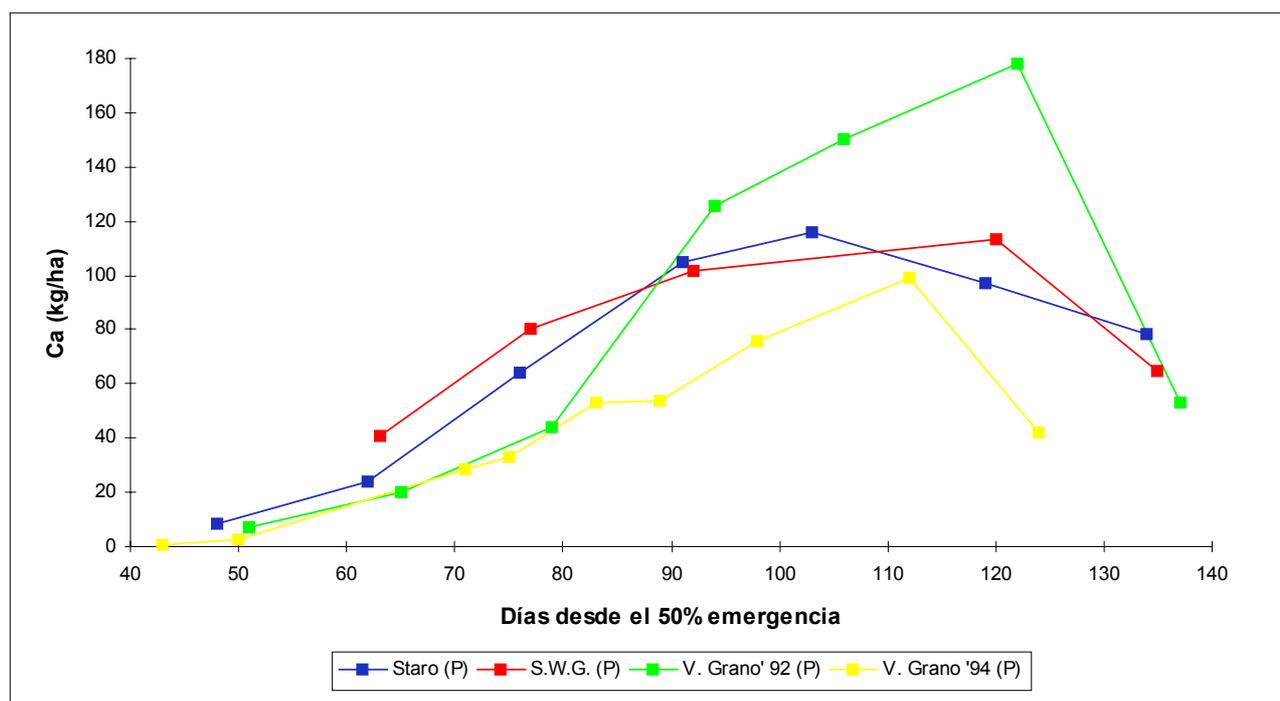


Figura 4.60. Evolución de los contenidos de calcio en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

En Staro y S.W.G. se observa una tendencia a disminuir los contenidos en planta en bulbificación . V. de Grano sería una excepción, aunque en todos los cultivares se observa una acumulación (porcentualmente) de los contenidos de calcio en hoja (figura 4.50).

Las necesidades máximas diarias de calcio se sitúan como media en 3,7 kg Ca ha⁻¹ día⁻¹ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92 variando desde 2,8 kg Ca ha⁻¹ día⁻¹ para los dos primeros cultivares a 5,4 kg Ca ha⁻¹ día⁻¹ en V. de Grano'92, y en 2,5 kg Ca ha⁻¹ día⁻¹ para Valenciana de Grano'94.

Las necesidades máximas diarias de magnesio (figura 4.61) se sitúan como media en $0,7 \text{ kg Mg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92, y en $0,7 \text{ kg Mg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para Valenciana de Grano'94.

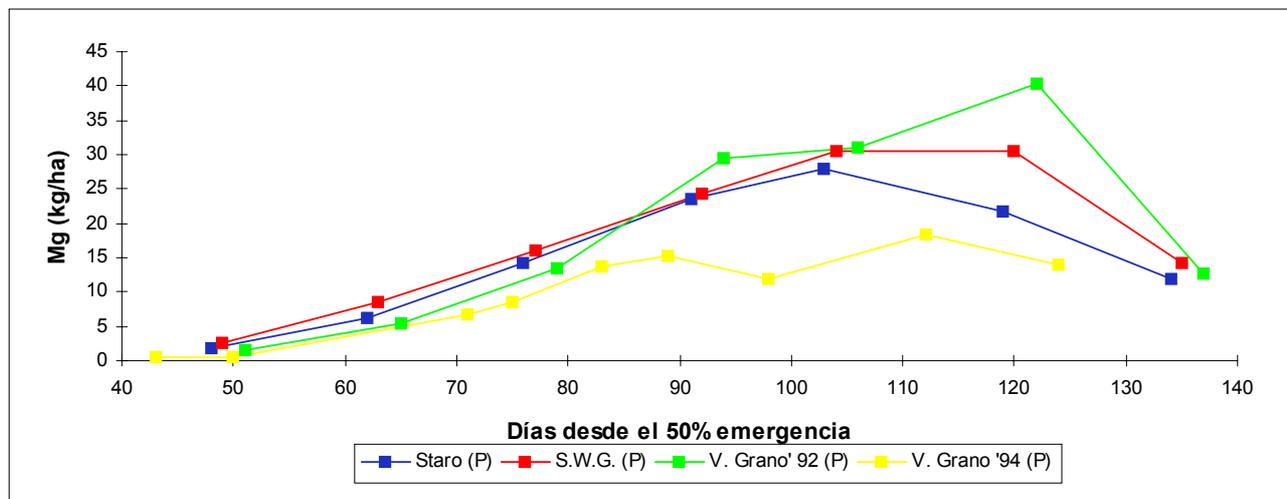


Figura 4.61. Evolución de los contenidos de magnesio en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las exportaciones de hierro son las mayores de todos los micronutrientes evaluados y muy semejantes entre los cultivares analizados, cercanos a los 800 g Fe ha^{-1} (figura 4.62).

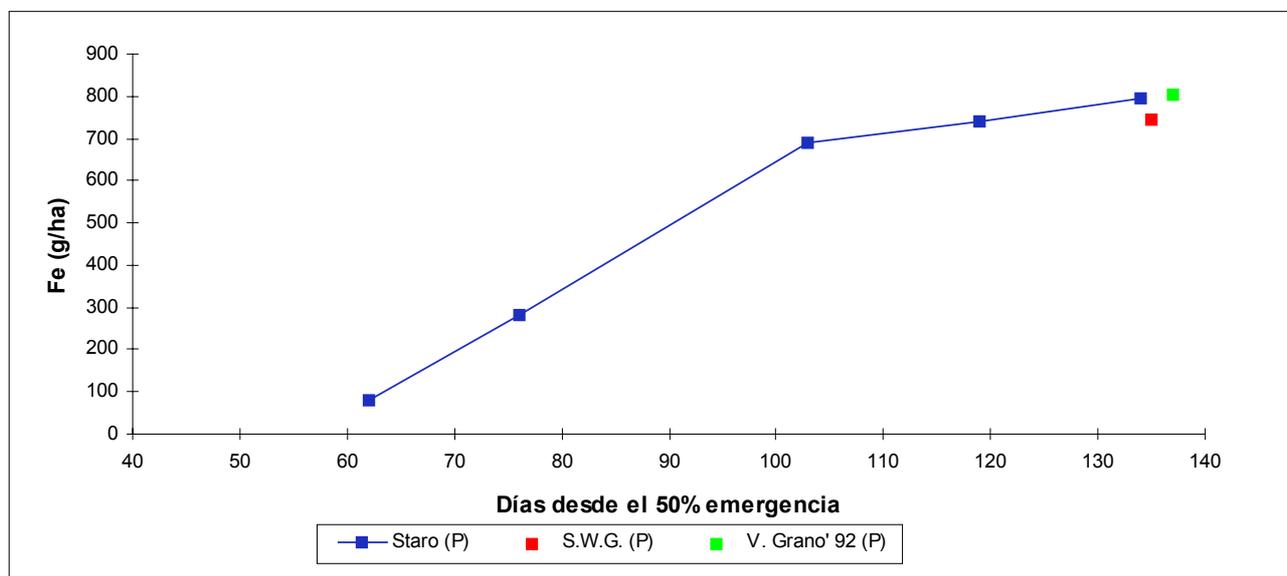


Figura 4.62. Evolución de los contenidos de hierro en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para el cultivar Staro. El último dato corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección incluyendo Southport White Globe y Valenciana de Grano (V.Grano'92).

Las necesidades máximas de hierro se sitúan en $15,0 \text{ g Fe ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Las necesidades máximas de manganeso (figura 4.63) se sitúan como media en 10 g Mn ha⁻¹ día⁻¹ para Staro y Valenciana de Grano'92 y en 5,2 g Mn ha⁻¹ día⁻¹ para Valenciana de Grano'94.

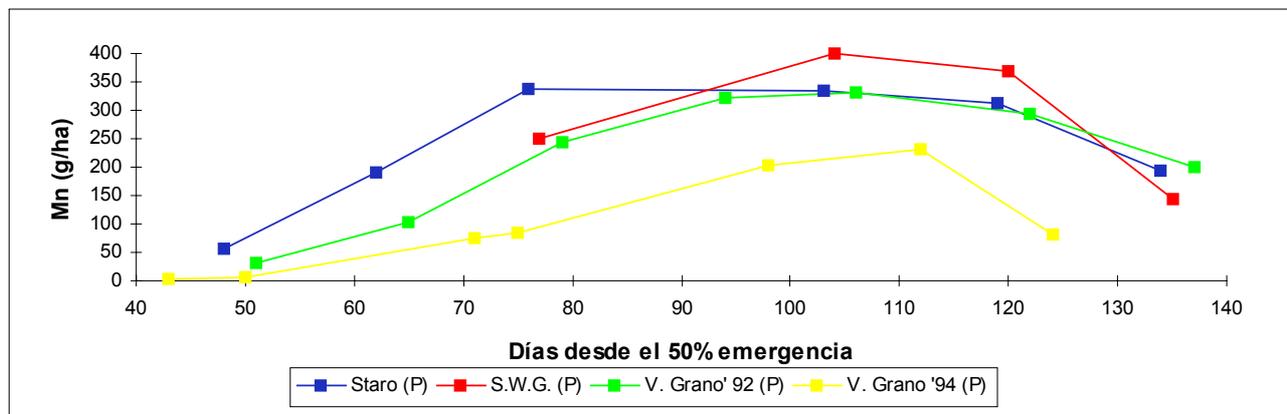


Figura 4.63. Evolución de los contenidos de manganeso en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Los contenidos de zinc en planta se incrementan de forma lineal a lo largo del ciclo (figura 4.64) situándose las exportaciones máximas entre 200 y 300 g ha⁻¹.

Las extracciones máximas de zinc se sitúan como media en 4,4 g Zn ha⁻¹ día⁻¹ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92.

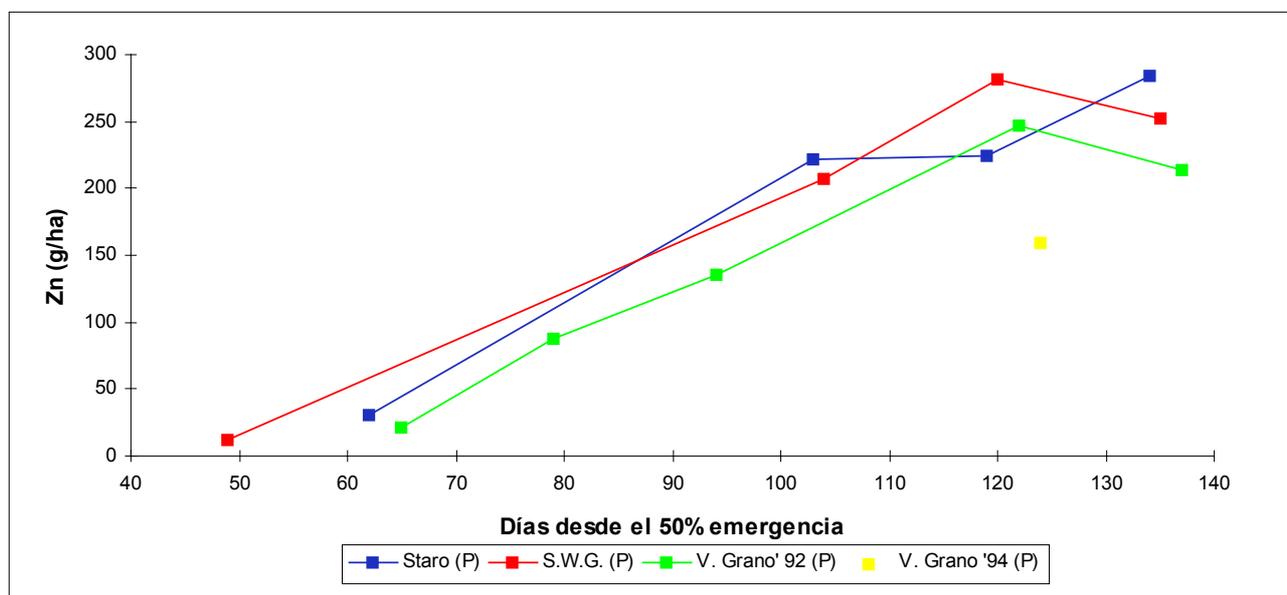


Figura 4.64. Evolución de los contenidos de zinc en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992. El último dato de cada cultivar incluyendo Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94) corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las extracciones de sodio son importantes en todos los cultivares y se aproximan a los 4000 g ha⁻¹ aunque las exportaciones máximas se sitúen en 1 kg ha⁻¹ (figura 4.65). Las extracciones máximas de sodio se sitúan como media en 101,0 g Na ha⁻¹ día⁻¹ para Staro, Southport White Globe y Valenciana de Grano'92, con una variación en las extracciones máximas entre 84 y 117 g Na ha⁻¹ día⁻¹ y en 47,8 kg Na ha⁻¹ día⁻¹ para Valenciana de Grano'94.

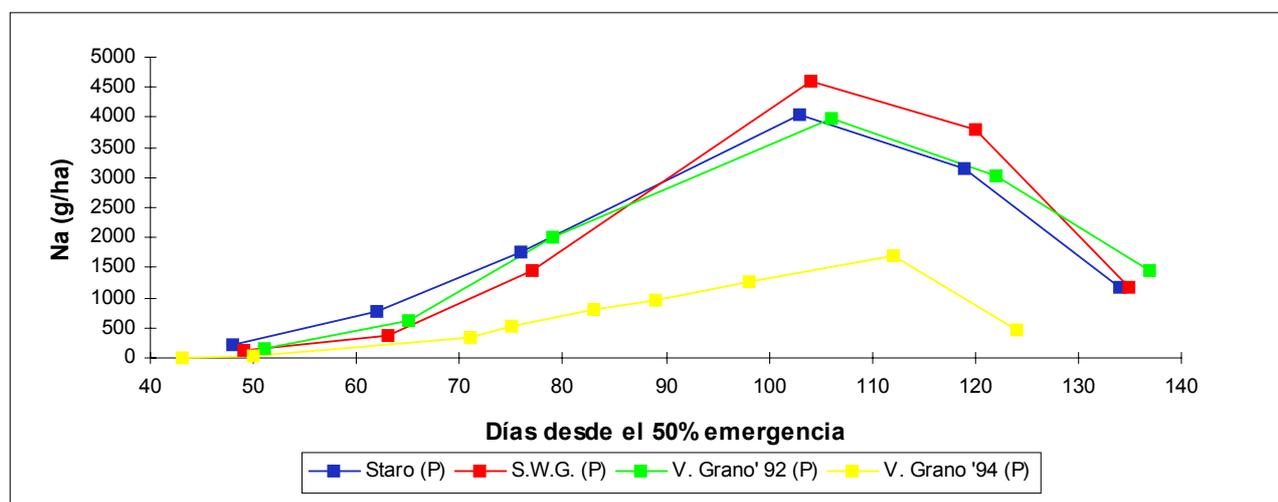


Figura 4.65. Evolución de los contenidos de sodio en la planta entera (P), excluyendo las raíces, a lo largo del ciclo de cultivo para los cultivares Staro, Southport White Globe, Valenciana de Grano (V.Grano'92) durante el año 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94). El último dato de cada cultivar corresponde a las exportaciones o contenido en bulbo en recolección.

Las exportaciones (cuadro 4.10) son inferiores a las extracciones máximas que se sitúan en 1992 en 294 kg N ha⁻¹, 38 kg P ha⁻¹, 358 kg K ha⁻¹, 78 kg Ca ha⁻¹ y 12 kg Mg ha⁻¹. En 1994 son menores por ser la densidad inferior.

Cuadro 4.10. Exportaciones ⁽¹⁾ de nutrientes por los bulbos por cada 1000 kg (Mg) de peso fresco en recolección, para distintos cultivares en 1992 y Valenciana de Grano en 1994 (V. Grano'94).

Nutriente exportado	Cultivar			
	Staro	S.W.G.	V. de Grano '92	V. de Grano '94
N (kg Mg ⁻¹)	3,0 (18,1)	2,8 (17,4)	1,4 (16,8)	1,6 (16,2)
P(kg Mg ⁻¹)	0,5 (2,9)	0,5 (2,7)	0,3 (3,3)	0,4 (3,8)
K(kg Mg ⁻¹)	3,3 (20,4)	3,4 (20,8)	1,6 (19,8)	1,9 (18,9)
Ca(kg Mg ⁻¹)	1,0 (5,9)	0,8 (5,0)	0,4 (5,0)	0,4 (4,4)
Mg(kg Mg ⁻¹)	0,1 (0,9)	0,2 (1,1)	0,1 (1,2)	0,1 (1,4)
Fe (g Mg ⁻¹)	9,81 (60)	9,44 (58)	6,23 (75)	- -
Mn(g Mg ⁻¹)	2,45 (15)	2,44 (15)	1,12 (13,5)	0,84 (8,5)
Zn(g Mg ⁻¹)	3,52 (20)	3,17 (20)	1,66 (20)	1,58 (16)
Na(g Mg ⁻¹)	18,0 (110)	17,9 (110)	7,5 (90)	4,8 (49)
Producción ⁽²⁾ (kg/ha)	80872,8 (13232)	79627,2 (12955)	128310,4 (10654)	97273,2 (9620)

(1) Los valores entre paréntesis corresponden a las exportaciones por cada 1000 kg (Mg) de materia seca.

(2) Los valores entre paréntesis corresponden a la producción de peso seco de bulbo.

Las extracciones diarias máximas de nutrientes se producen entre los muestreos tercero y cuarto (24 de junio a 9 de julio) coincidiendo con el inicio de la bulbificación (figura 2.22).

Se calcula también la tasa máxima de extracción de macronutrientes por unidad de longitud radicular (figuras 4.66 a 4.69), en forma de NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+ y para los nutrientes calcio y magnesio (figuras 4.70 y 4.71). Los valores máximos se obtienen en los estados iniciales y van disminuyendo al avanzar el ciclo. Estos valores máximos se sitúan en $131 \cdot 10^{-12}$ mol NO_3^- /m/s; $6 \cdot 10^{-12}$ mol H_2PO_4^- /m/s; $45 \cdot 10^{-12}$ mol K^+ /m/s; $18 \cdot 10^{-12}$ mol Ca^{2+} /m/s y $9 \cdot 10^{-12}$ mol Mg^{2+} /m/s.

El considerar las extracciones de las raíces no modifica prácticamente ($3 \cdot 10^{-12}$ mol NO_3^- /m/s) la tasa máxima de extracción para el NO_3^- .

Las variaciones en la tasa de extracción durante el ciclo son debidas a variaciones en la tasa de crecimiento de la parte aérea respecto al crecimiento radicular.

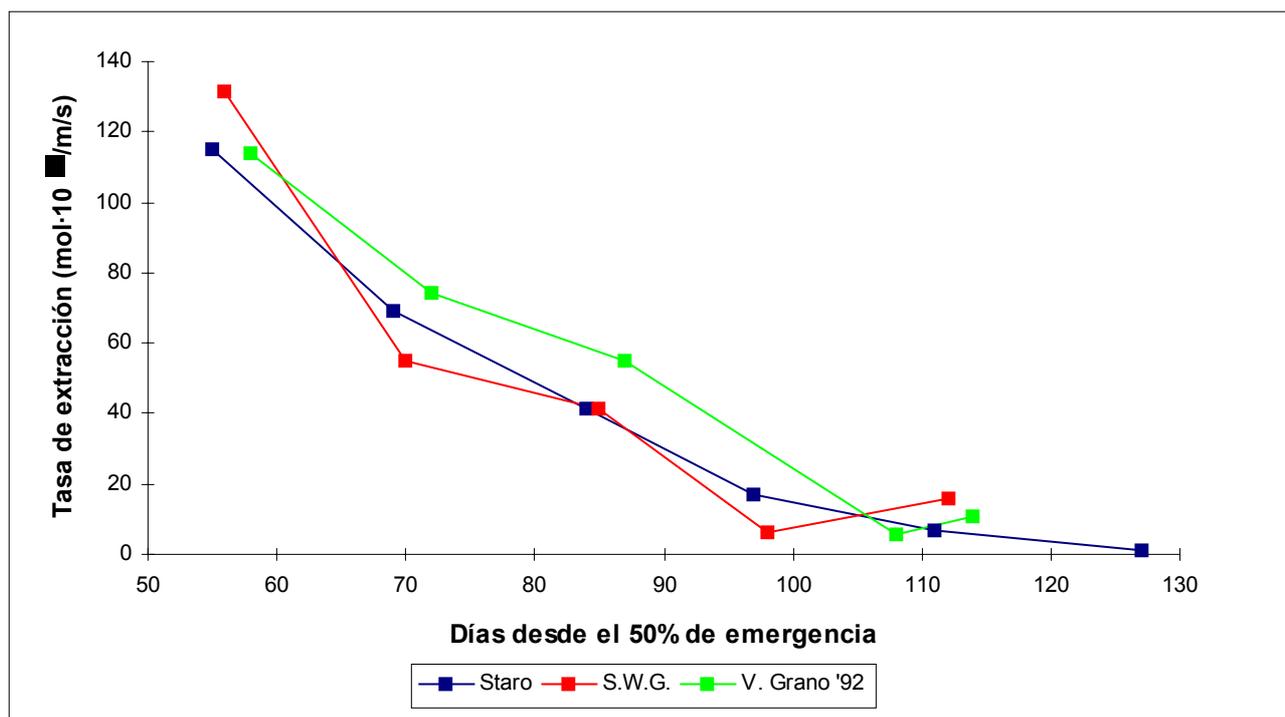


Figura 4.66. Tasa de extracción de nitrógeno en forma NO_3^- entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G) y Valenciana de Grano (V. de Grano '92), excluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

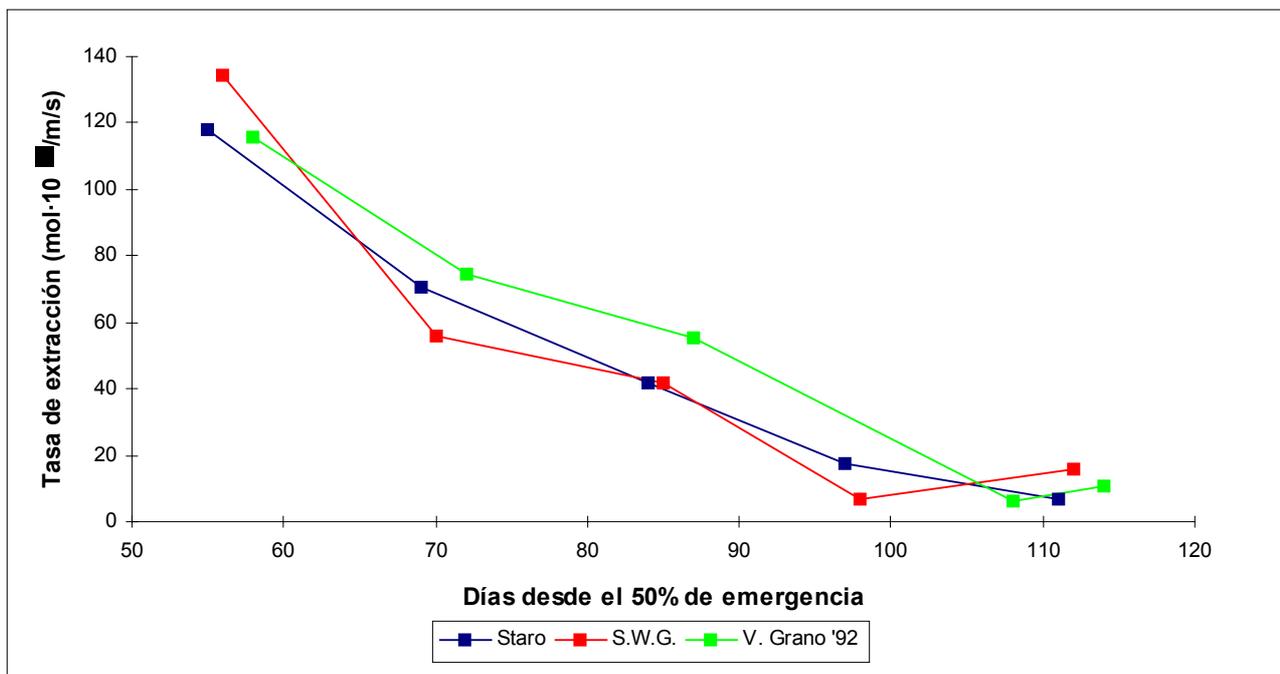


Figura 4.67. Tasa de extracción de nitrógeno en forma NO_3^- entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G) y Valenciana de Grano (V. de Grano '92), incluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abcisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

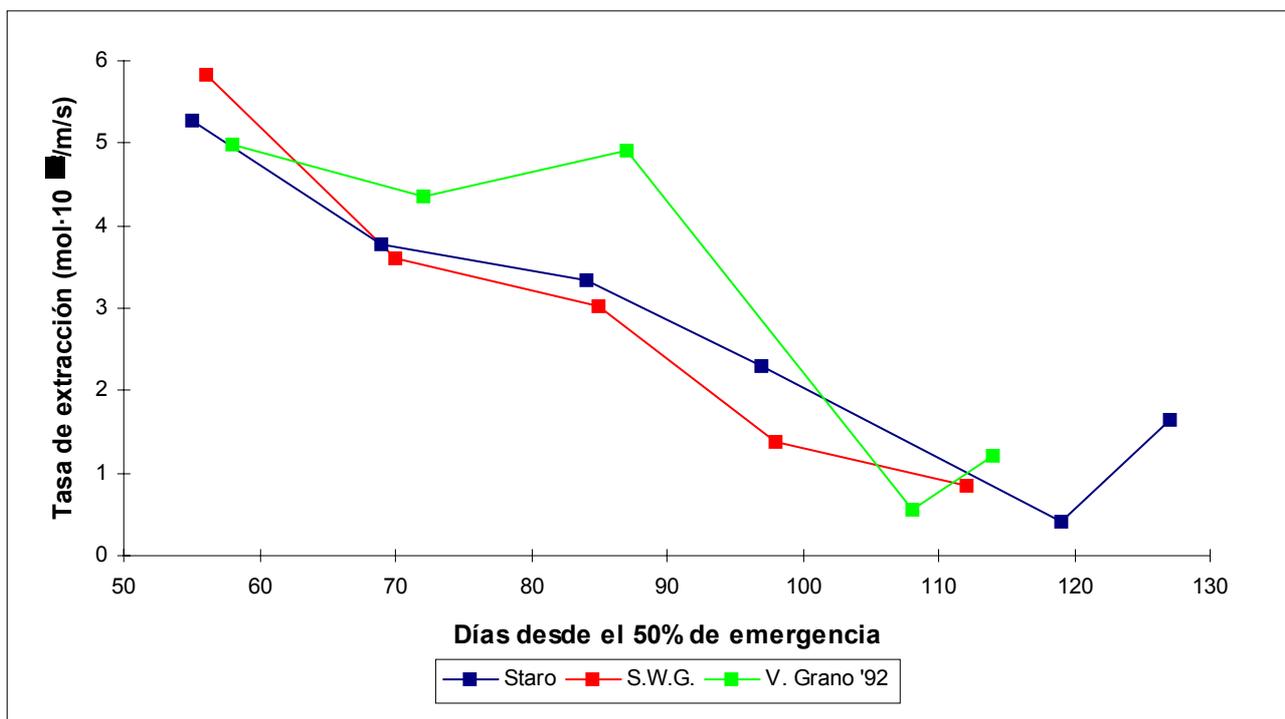


Figura 4.68. Tasa de extracción de fósforo en forma H_2PO_4^- entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92), excluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abcisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

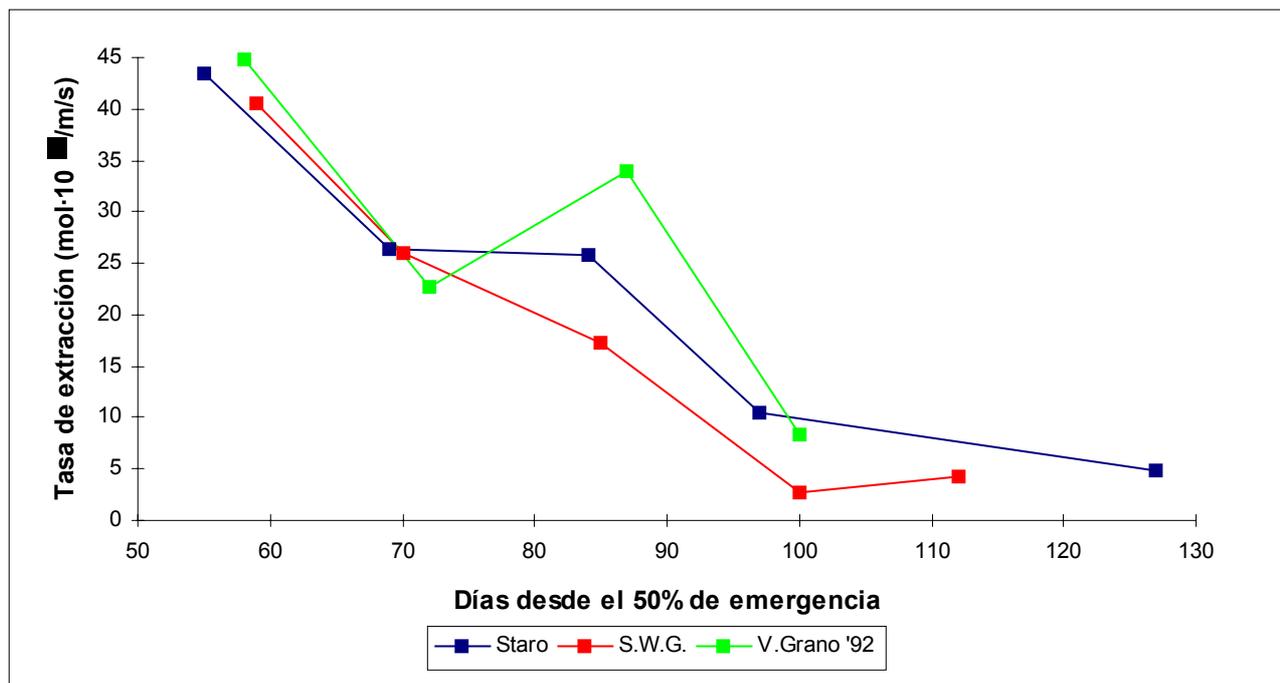


Figura 4.69. Tasa de extracción de potasio en forma K^+ entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92),excluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

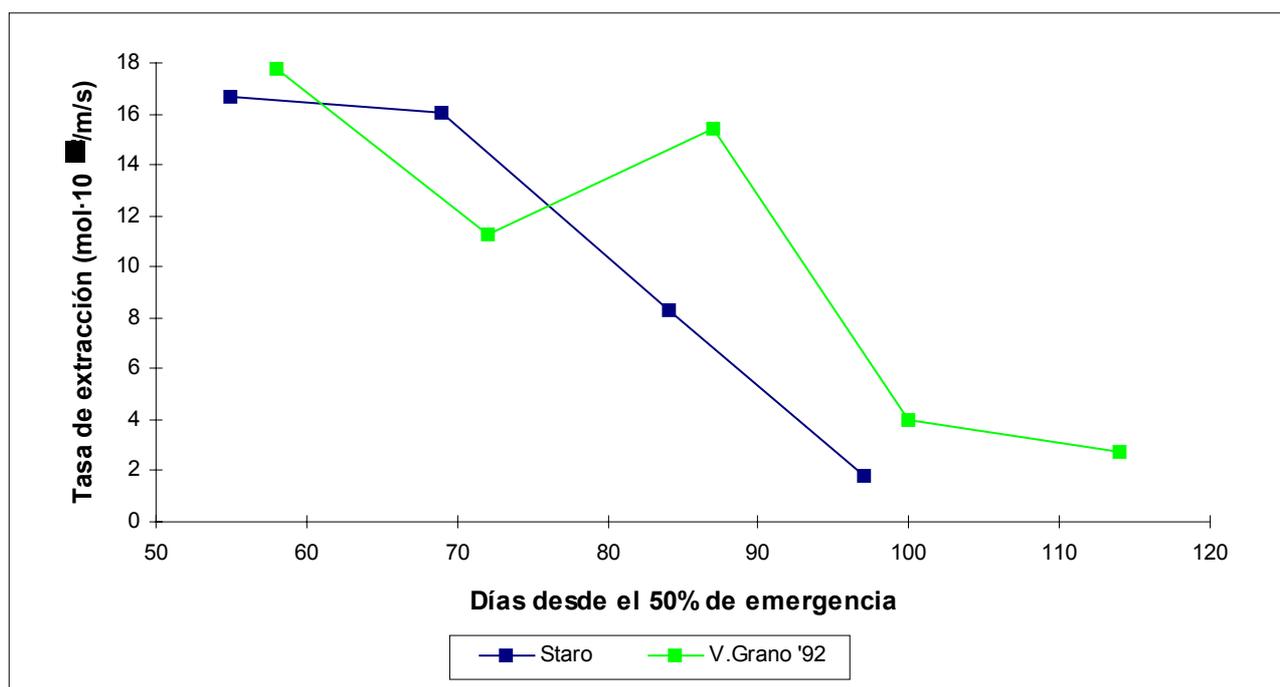


Figura 4.70. Tasa de extracción de calcio en forma Ca^{2+} entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro y Valenciana de Grano (V. de Grano'92), excluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

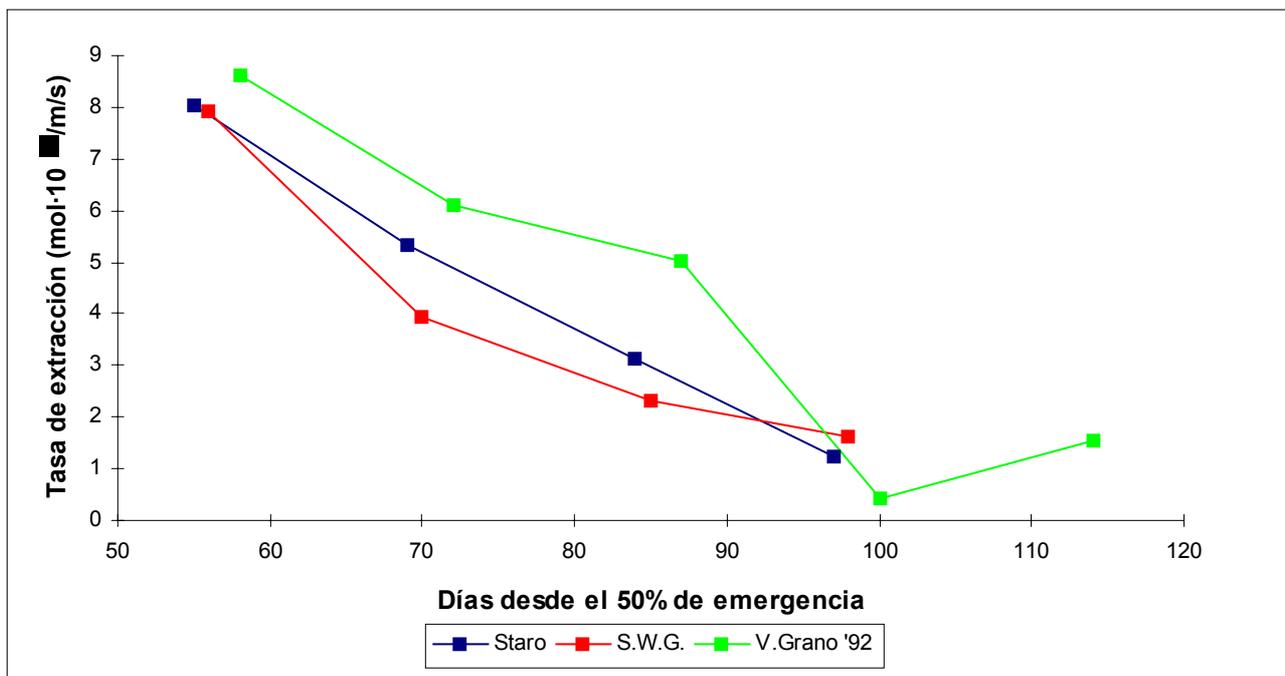


Figura 4.71. Tasa de extracción de magnesio en forma Mg²⁺ entre muestreos, por unidad de longitud radicular, para los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92), excluyendo los contenidos de las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado. Las diferencias de concentración máximas para mantener el suministro de nutrientes por difusión (figuras 4.72 a 4.77) se localizan en los estados iniciales.

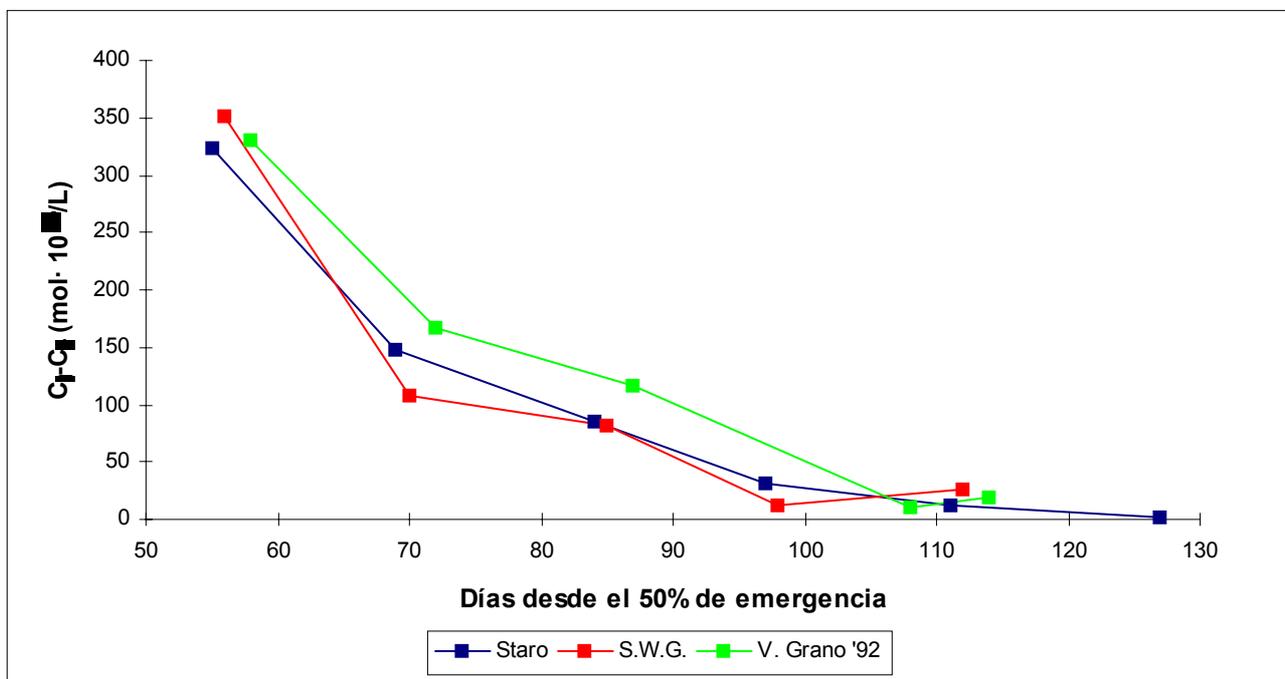


Figura 4.72. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular (C₁ - C_r), para mantener el flujo de nitrógeno mediante difusión, en los cultivares Staro, S.W.G. y V. de Grano'92. Se desprecia el suministro del nutriente a las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

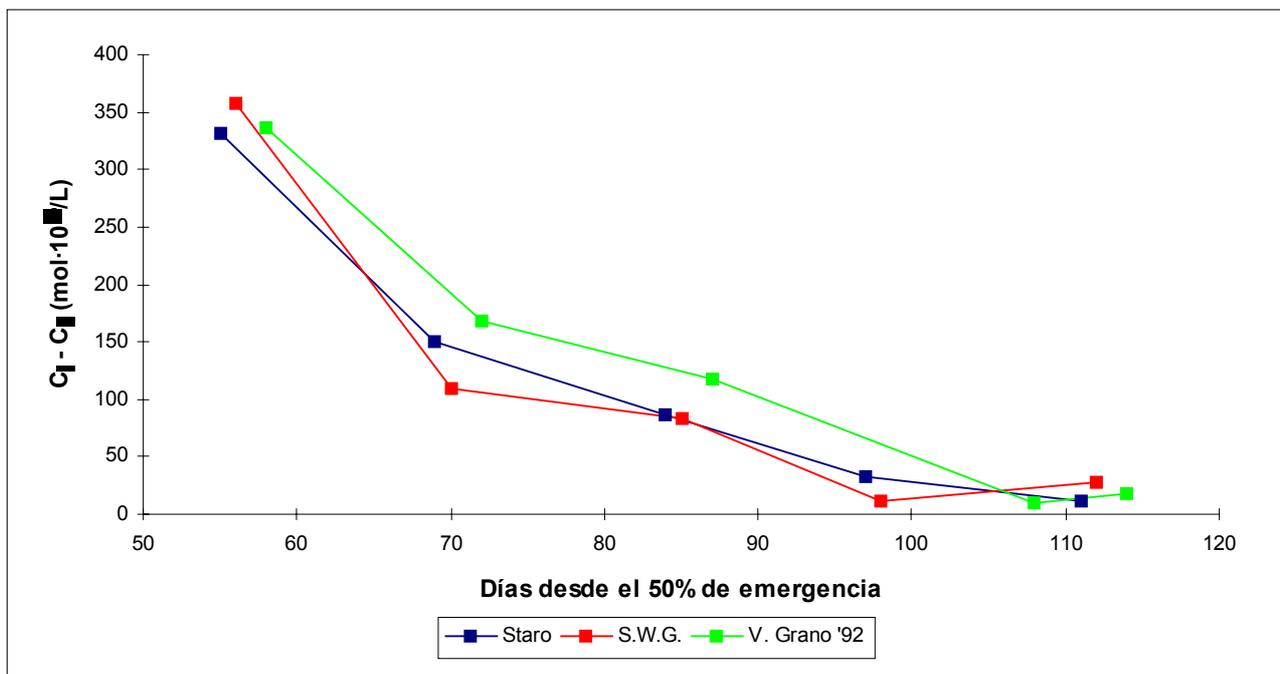


Figura 4.73. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular ($C_1 - C_r$), para mantener el flujo de nitrógeno mediante difusión, en los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G.) y Valenciana de Grano (V.de Grano '92). Se incluye el suministro del nutriente a las raíces. Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

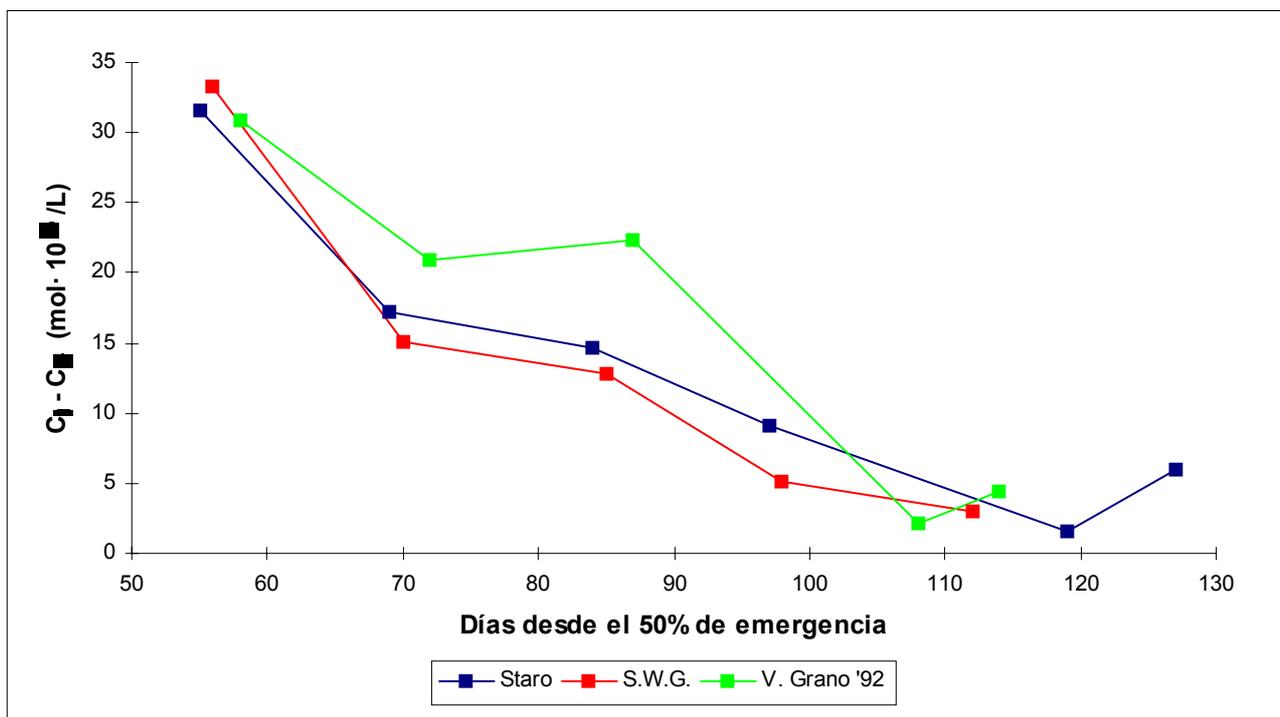


Figura 4.74. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular ($C_1 - C_r$), para mantener el flujo de fósforo mediante difusión, en los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G.) y Valenciana de Grano (V.de Grano '92). Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

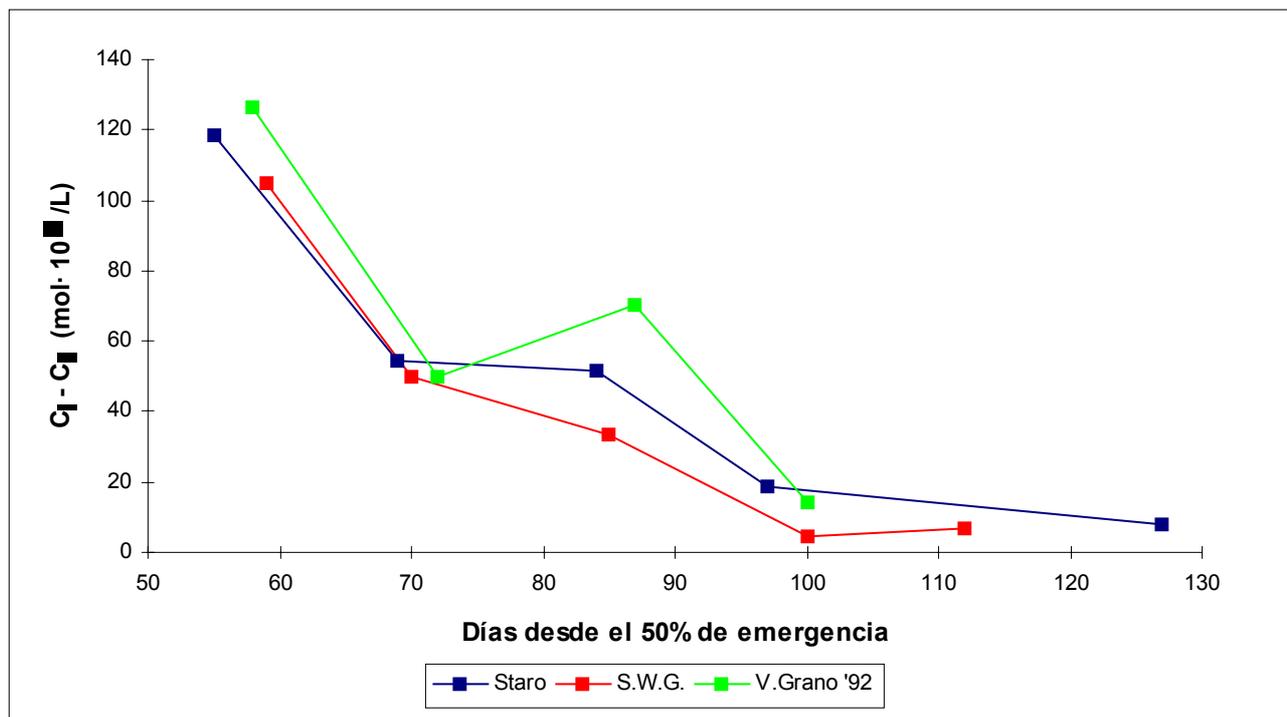


Figura 4.75. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular ($C_1 - C_{1r}$), para mantener el flujo de potasio mediante difusión, en los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G.) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92). Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

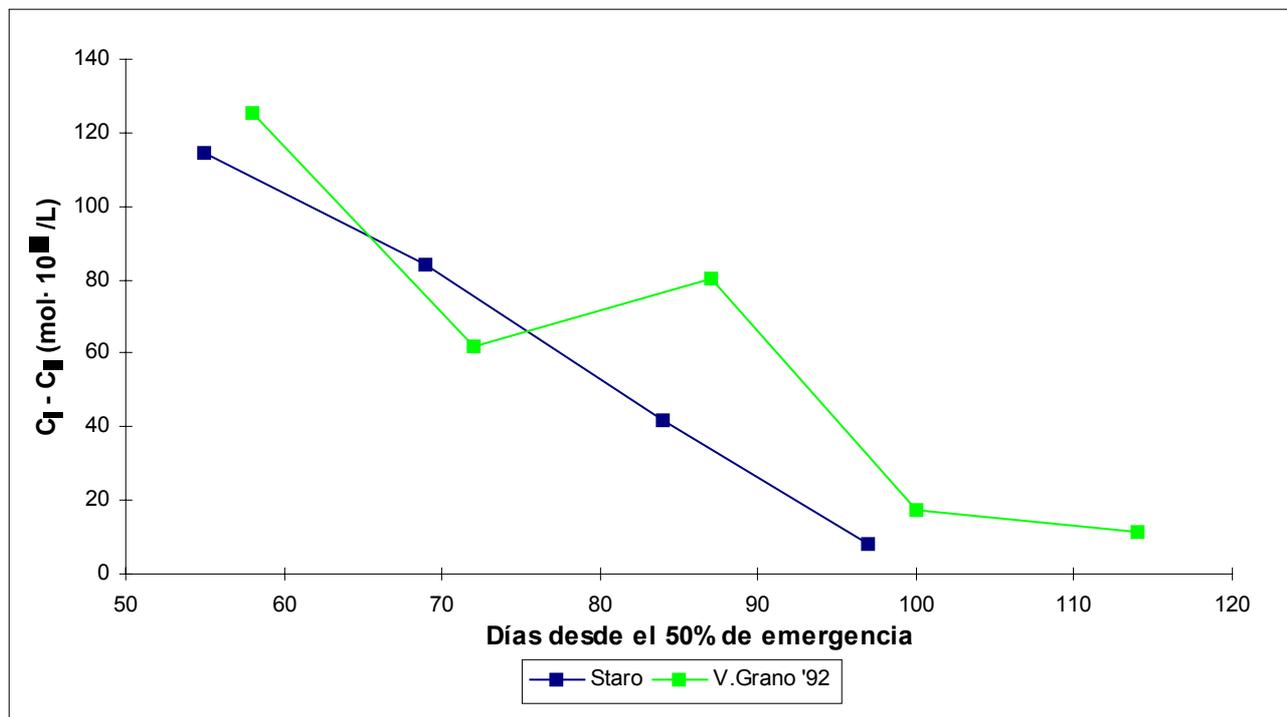


Figura 4.76. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular ($C_1 - C_{1r}$), para mantener el flujo de calcio mediante difusión, en los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G.) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92). Los valores de las abscisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

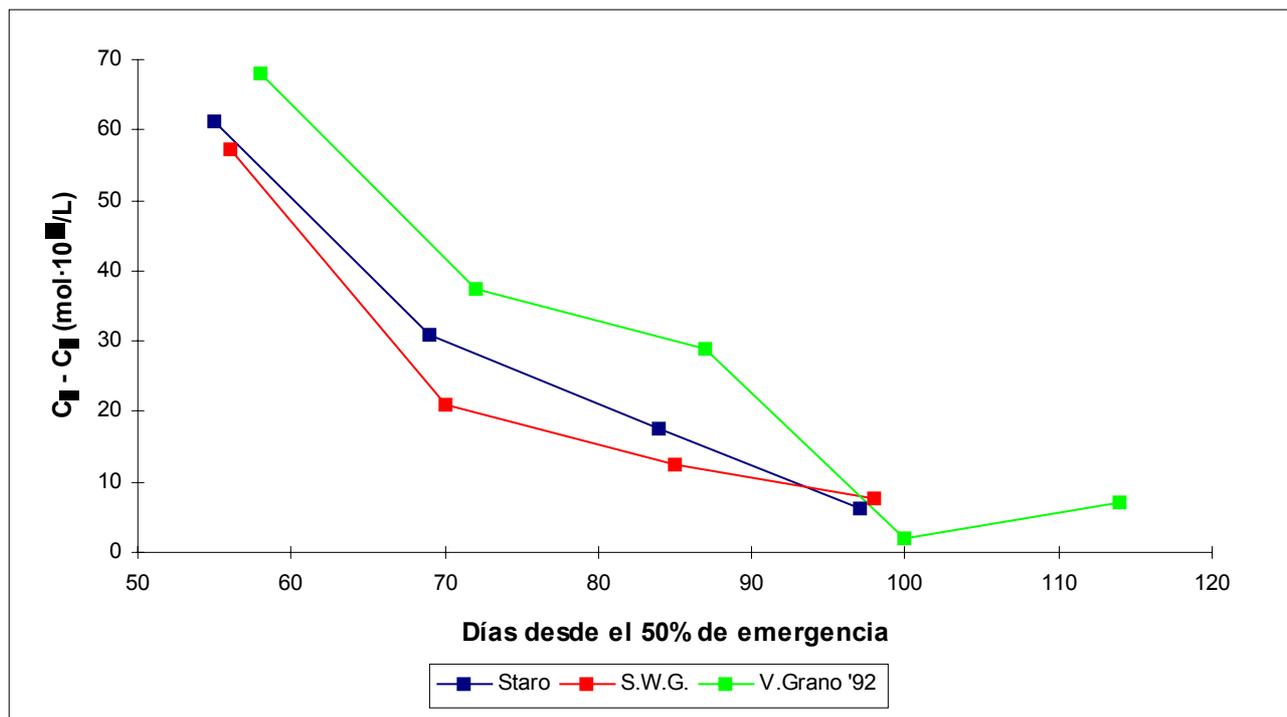


Figura 4.77. Diferencia de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular ($C_1 - C_{1r}$), para mantener el flujo de magnesio mediante difusión, en los cultivares Staro, Southport White Globe (S.W.G.) y Valenciana de Grano (V. de Grano'92). Los valores de las abcisas corresponden a la fecha central del intervalo considerado.

Las diferencias de concentración máximas considerando los tres cultivares conjuntamente (figuras 4.72 a 4.77) para mantener el suministro de nutrientes por difusión, se sitúan, para la fracción del contenido volumétrico de agua en el suelo de 0,32 , en $350 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ para el nitrógeno, en $33 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ para el fósforo, en $126 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ para el potasio, $125 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ para el calcio y $68 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ para el magnesio, lo que equivale en la solución del suelo a $3,14 \text{ kg N ha}^{-1}$, $0,65 \text{ kg P ha}^{-1}$, $3,15 \text{ kg K ha}^{-1}$, $3,2 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ y $1,1 \text{ kg Mg ha}^{-1}$.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos planteados se discuten de forma global para cada uno de los nutrientes analizados. La presentación se complementa con la discusión del suministro de macronutrientes y nutrientes secundarios mediante difusión.

Al igual que en el apartado de resultados, el término bulbo se utiliza como sinónimo de vaina envolvente.

Como aspecto general en relación a las exportaciones de nutrientes en recolección según el manejo del agua de riego, señalar que en condiciones de riego de alta frecuencia (cuadro 4.10) en relación al riego infrecuente (cuadro 4.8), las exportaciones se caracterizan principalmente por duplicarse las de fósforo y las de los micronutrientes hierro y manganeso.

4.5.1. Contenidos de nitrógeno en cebolla de forma fraccionada, extracciones y exportaciones

La disminución de los contenidos de N en limbo al avanzar el ciclo y especialmente al aproximarse a la madurez cuando estos contenidos se expresan sobre peso seco (figuras 4.1 y 4.43) se relaciona con la disminución del contenido de proteínas en las hojas al avanzar el ciclo (De Visser, 1994). También podría explicarse porque a medida que el área foliar se desarrolla de forma importante se establece un mayor sombreado de unas plantas respecto a otras. Lemaire *et al.* (1991) observaron en alfalfa que el sombreado iba ligado a una disminución del contenido de nitrógeno.

La excepción a la tendencia decreciente de los contenidos de N en limbo que se observa en el experimento 4.1, con un máximo relativo en el contenido de N en limbo en los cultivares Albino, Albion y BAV-E58 a los 125 días tras la siembra (figura 4.1), podría ser la respuesta al riego efectuado tres días antes ya que las diferencias en los contenidos respecto al muestreo anterior de 14 de mayo (111 días desde la siembra) son pequeñas. Las diferencias observadas en los contenidos de N en limbo en condiciones de riego infrecuente entre Albino, Albion, BAV-E58 y V. Grano (figura 4.1) pueden deberse no únicamente al hecho de ensayar cultivares distintos sino también por proceder el material de ensayos distintos, aunque situados en la misma finca.

Los contenidos de nitrógeno en hoja, en general, se han visto afectados por el manejo de riego si se comparan los resultados obtenidos para distintos cultivares bajo distintos sistemas de riego (figuras 4.1 y 4.43) es decir, a menor disponibilidad hídrica menores contenidos en hoja, aunque V. Grano no se ajusta exactamente a esta descripción. Resulta difícil explicar los resultados obtenidos en V. Grano. Por una parte, el que se observen bajo condiciones de riego infrecuente respecto al riego de alta frecuencia mayores contenidos de N en limbo pero no en bulbo puede deberse a la alta movilidad del nitrógeno que se desplaza fácilmente hacia las zonas de mayor actividad funcional, también las condiciones de estrés hídrico podrían favorecer este incremento ya que se ha descrito (Guardiola y García, 1990) que en estas condiciones se pueden acumular sustancias nitrogenadas que contribuyen a la osmoregulación. Una

mayor concentración de nitrógeno en plantas sometidas a estrés hídrico en relación a las plantas control, también ha sido descrita en cebada y trigo (Pessarakli y Fardad, 1995). Todo ello contribuiría a unos mayores contenidos de N en limbo en V. de Grano en condiciones de insuficiente disponibilidad hídrica, también indicaría una mejor adaptación a estas condiciones de estrés respecto a Albeno, Albion y BAV-E58 (figura 4.11) aunque no se observen comparativamente unas mayores producciones de biomasa en bulbo (cuadro 4.8). A pesar de que V. Grano es un cultivar propio de una zona semiárida, se requiere una mayor investigación para explicar los resultados obtenidos y tal vez analizar otros aspectos ligados a diferencias en la tasa neta de intercambio de CO₂ o a otras limitaciones.

En bulbo, los mínimos relativos al inicio de la bulbificación en el experimento 4.4 (figura 4.43) o ya en pleno proceso de bulbificación en el experimento 4.1 (figura 4.1) podrían explicarse considerando una posible limitación del pseudotallo como canal de transporte de los fotoasimilados, cuando se producen las máximas extracciones diarias de la planta (figuras 4.11 y 4.56).

En los contenidos en bulbo, en riego infrecuente (experimento 4.1), existe un periodo (10-24 de junio, 138-152 días desde la siembra) que se corresponde con el inicio de la bulbificación (cuadros 2.37 y 2.50), en donde se produce una importante disminución de los contenidos, aunque posteriormente existe una recuperación. En este periodo, cuando es importante la producción de nuevas raíces adventicias (capítulo 3), el estrés hídrico, limitando el crecimiento radicular y el transporte de NO₃⁻, ha podido limitar puntualmente el suministro de nitrógeno al bulbo, lo que se corrobora al comparar las figuras 4.1 y 4.43. También en las extracciones de N bajo condiciones de riego infrecuente (figura 4.11) se observa en V. de Grano un rápido incremento de la tasa de extracción de N al final del periodo de bulbificación que podría asociarse a la respuesta del riego de 17 de julio (175 días desde la siembra), cuando aún no se había iniciado el proceso de maduración del bulbo (cuadro 2.53).

Globalmente, la disminución de contenidos de N en la parte aérea (figuras 4.34 y 4.44) podrían adaptarse a consideraciones de Lemaire y Gastal (1997) en cereales. Los autores mencionados indican que a medida que se desarrolla nueva área foliar en la planta, ésta tiene que invertir una mayor proporción de las ganancias netas de carbono en tejidos estructurales, para así mantener esta nueva área foliar en una posición adecuada para interceptar más luz. Al poseer los tejidos estructurales menor cantidad de nitrógeno que la biomasa asociada a la intercepción lumínica y a su conversión, se observaría, al avanzar el ciclo, la disminución de N en la planta. Aunque la cebolla presenta un desarrollo foliar distinto a otros cultivos como las gramíneas, sí que esta similitud tendría su aportación en base a los cambios en la forma de la planta en cebolla (cuadros 2.35, 2.42, 6.21 y figura 6.4). También porque incluso antes de iniciarse el proceso de bulbificación existe un cambio gradual de la producción de limbos hacia el engrosamiento de las vainas. Las vainas tienen un menor contenido de proteínas que los limbos (De Visser, 1994).

La mayor disponibilidad hídrica ha permitido también duplicar las tasas diarias máximas de extracción de este macronutriente, tal como se observa comparando las figuras 4.11 y 4.56.

Las diferencias observadas en la evolución de las extracciones de nitrógeno entre años (1992/1994), en condiciones de riego de alta frecuencia (experimento 4.4) en V. Grano, se deben a la distinta densidad, producción (cuadros 2.86 y 6.30) y menor duración del periodo de bulbificación en 1994 ya que la recolección se adelantó una semana respecto 1992. También existieron grandes diferencias en el crecimiento foliar, en 1994 los valores del índice de área foliar máximos (figura 6.20) se corresponden aproximadamente con la mitad de los valores máximos obtenidos en 1992 (figura 2.20).

Los resultados de la evolución de los contenidos de nitrógeno en planta entera incluyendo las raíces (figura 4.57), en relación a los obtenidos si se las excluyen (figura 4.56), indica que la proporción de N contenido en las raíces es muy baja, lo que concordaría con las asunciones de modelos anteriores (Aslyng y Hansen, 1985).

Las exportaciones de N en recolección en los diversos experimentos se sitúan dentro de los márgenes recopilados en la bibliografía (cuadros 4.2, 4.8 y 4.9) aunque con mayor variabilidad en riego infrecuente.

Cabe destacar la necesidad de considerar y añadir en las recomendaciones de fertilización al agricultor, en base a la producción en peso fresco esperada, el contenido de materia seca propio del cultivar ya que, de lo contrario, pueden producirse errores tan graves como duplicar la dosis de abonado nitrogenado (cuadro 4.10). El margen de variación en las exportaciones de 6 kg N Mg^{-1} sobre peso seco de bulbo obtenido en condiciones de estrés hídrico (cuadro 4.8), implica una variabilidad (suponiendo producciones de materia seca de 3.500 kg ha^{-1}) de 21 kg N ha^{-1} en las exportaciones. En riego de alta frecuencia el margen es menor, 2 kg N Mg^{-1} (cuadro 4.10), pero al casi triplicarse las producciones, las posibles diferencias en exportaciones son prácticamente las mismas.

En condiciones de riego infrecuente la realización de un abonado de fondo antes del primer riego, en un intervalo de tiempo en donde son bajas las extracciones de N por parte del cultivo, se traduce en importantes disminuciones del contenido de N en la zona explorada por las raíces (figuras 4.39 y 4.41) tras este primer riego. Lo anteriormente expuesto conlleva el recomendar la aplicación localizada de una fracción del fertilizante en la siembra (capítulo 5), con aplicaciones posteriores fraccionadas o bien a disminuir la cantidad de fertilizante aplicado a voleo en presiembra. Como consecuencia destaca el resultar imprescindible el abonado de cobertera.

Las observaciones realizadas en el experimento 4.3 ponen en duda las recomendaciones de fertilización nitrogenada basadas en el contenido de nitrógeno mineral (N_{min}) en el suelo antes de la siembra o plantación debido a las grandes variaciones en los contenidos de nitrógeno mineral en el suelo en un periodo inferior a 20 días, durante la fase de crecimiento inicial, con una baja demanda de nitrógeno por parte del cultivo (figura 4.39). El análisis de los contenidos

de N_{\min} en el suelo, tras el primer riego, en que el contenido de agua en el suelo alcanza la capacidad de campo, se apunta como más útil para planificar la fertilización o como mínimo resulta imprescindible como complemento al primer análisis en presiembra, más aún en suelos arcillosos donde el crecimiento de la cebolla hasta el estadio de 3-4 hojas verdaderas parece no estar influenciado por la cantidad de N aplicado (entre 72 y 110 kg N/ha) antes de la siembra (De Visser, 1998). La mejor época de muestreo para ajustar el abonado de cobertera sería, casi con independencia del número de riegos previos, bajo este sistema de riego, a mediados o finales de mayo, antes del inicio del rápido crecimiento exponencial (figura 4.22), ya que es a partir de la segunda mitad del periodo de crecimiento cuando la cebolla extrae la mayoría del nitrógeno (figura 4.39). Los aproximadamente 300 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ que a final de ciclo se observan en los primeros 60 cm en el experimento 4.3 (figura 4.42), coinciden con los resultados de Greenwood *et al.* (1989) que postulan que en el cultivo de algunas hortalizas, bajo el método convencional de aplicación a voleo de fertilizante nitrogenado, con cantidades suficientes para obtener elevados rendimientos, existen grandes cantidades de nitratos que permanecen en el suelo tras la cosecha. Ello es debido a que tras la aplicación del fertilizante nitrogenado en abonado de fondo, las cebollas tardan bastante tiempo en desarrollar un sistema radicular que explore extensivamente el suelo (capítulo 3), de manera que, a su vez, serían necesarias concentraciones más elevadas de nutriente cerca de las raíces. Estos niveles de nitratos a final de ciclo, indican la necesidad de incorporar en la rotación cultivos con mayor capacidad de enraizamiento que la cebolla. También, y como ya se ha señalado, el realizar durante el ciclo aplicaciones de nitrógeno iniciales más localizadas con aportaciones posteriores más fraccionadas y en menor cantidad.

Los resultados de las curvas de dilución de N (figuras 4.44 y 4.45) para valores de biomasa entre 1 y 4 Mg ha⁻¹ podrían interpretarse como un déficit de nitrógeno y como una posible limitación en la disponibilidad de N mineral del suelo. Esta hipótesis resulta difícil de aceptar ya que en el primer muestreo de 15 de junio y para una densidad de 160 plantas m⁻² los contenidos de nitrógeno en planta (cuadro 6.45) superan los niveles de nitrógeno crítico correspondientes a la biomasa de 4,4 Mg ha⁻¹ (cuadro 6.5), mientras que para una densidad de 80 plantas m⁻² con una biomasa de 1,9 Mg ha⁻¹ los contenidos de nitrógeno son un 1% inferiores a los niveles críticos (figura 4.45). Es decir, si la disponibilidad de nitrógeno fuese limitante ésta habría afectado más a las parcelas de mayor densidad y mayor producción de biomasa. Además, la diferencia de concentración máxima entre la solución del suelo y la superficie radicular para mantener el flujo de nitrógeno en forma NO₃⁻ mediante difusión, se sitúa, en riego de alta frecuencia y en los estados iniciales, en 0,16 kg N ha⁻¹ cm⁻¹ en plantas cultivadas a una densidad de 80 plantas m⁻². Este valor teórico obtenido es bajo. Greenwood, Neeteson y Draycott (1986) de forma general consideran que las raíces no pueden extraer nitrato del suelo cuando éste es inferior a 0,46 kg N ha⁻¹ cm⁻¹, aunque en un trabajo posterior en cebolla (Greenwood *et al.*, 1992) se

obtuvo que el N residual en el suelo podía alcanzar $0,73 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, a pesar de que la demanda del cultivo no fuese satisfecha. Este último valor es superado en el experimento planteado (figuras 6.33 a 6.34). El N residual, no obstante, indica la cantidad de N que permanece a disposición de la planta, pero otros factores, como limitaciones en la disponibilidad hídrica, pueden incrementar su cantidad como ocurre en el experimento 4.3 (figuras 4.35 a 4.37). Restricciones en la disponibilidad de agua limitan el crecimiento radicular y de la parte aérea y, por tanto, la demanda de nitrógeno. De lo discutido se desprende que el crecimiento radicular y las condiciones de cultivo bajo riego de alta frecuencia no son limitantes para la disponibilidad de N mineral.

Por consiguiente, en la curva de dilución existe un factor que impide, en cebolla, la aplicación general de un única curva y este factor es la densidad. Además se observa que la dilución se establece en los experimentos de 1992 (figuras 4.44 y 4.45) y con independencia de la densidad, hasta los valores de biomasa entre $3,5 - 4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. A partir de biomasa superiores a $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, que en los experimentos bajo condiciones de riego de alta frecuencia coincide con un porcentaje de radiación interceptada entre el 40-50 % y del 60 % (cuadros 2. 82 y 6.32) y con el momento en que el proceso de bulbificación está a punto de iniciarse (figuras 2.22, 2.23, 6.22, 6.23 y 6.24).

Es decir, hasta el inicio de la bulbificación, la mayor parte del nitrógeno de la planta se halla en los limbos (figuras 4.43, 2.14, 2.15 y cuadros 6.5 y 6.45) por lo que, en vez de relacionar contenidos de N con biomasa, que pueden conducir a interpretaciones erróneas en cebolla según la densidad de siembra, tal vez sea más lógico relacionar las extracciones de nitrógeno con otras variables como el área foliar o el índice de área foliar, tal como se presenta en el capítulo 6 (cuadros 6.46 y 6.50). Mientras el contenido de N en hoja expresado sobre materia seca (N,%) disminuye al desarrollarse el área foliar (figura 4.43), las relaciones citadas (cuadros 6.46 y 6.50) hasta que se alcanza el IAF máximo, indican que a medida que el área foliar por la planta se incrementa, las extracciones de N en relación al índice de área foliar se pueden mantener constantes para cada densidad, con valores de 6,05; 5,48 y 5,13 g N m^{-2} respectivamente para las densidades de 30, 60 y 90 plantas m^{-2} del experimento 6.2. Las diferencias entre densidades pueden explicarse no por la disponibilidad de N, que es elevada (figuras 6.33 a 6.35), sino por el obstáculo que a una planta le supone la presencia de plantas vecinas en relación a la intercepción de luz, lo que limita su crecimiento (cuadro 6.19), limitación que se incrementa al aumentar la densidad. Así, el índice de área foliar puede utilizarse para estimar las necesidades de N hasta que se alcanza el IAF máximo, según la densidad de siembra.

En condiciones de sombreado, con biomasa que no superan los 4 Mg ha^{-1} , los contenidos de nitrógeno en relación a la materia seca (figura 4.45), siguen una tendencia semejante a la observada en condiciones de iluminación normales, coincidiendo en observaciones realizadas en lechuga, en donde la relación entre la velocidad relativa de crecimiento y

el contenido de nitrógeno en forma reducida (diferencia entre N total y el N nítrico), se mantenía constante con independencia del nivel radiativo (Dapoigny, Fleury y Robin, 1997)

En otra planta C_3 , concretamente en trigo, Justes *et al.* (1994) encontraron una curva de dilución semejante a la de Greenwood *et al.* (1990) que podía aplicarse desde el encañado a floración pero únicamente era válida para una biomasa superior a $1,55 \text{ Mg ha}^{-1}$, sugiriendo para biomásas inferiores un valor constante de concentración crítica. Es decir, la aplicación de la curva de dilución es aceptable a partir del momento en que las plantas que crecen en condiciones no limitantes, interceptan prácticamente toda la radiación.

La curva de dilución de nitrógeno validada en cebolla por Greenwood *et al.* (1992) no contempla los aspectos anteriores, ya que los valores medios utilizados de biomasa en condiciones no limitantes de nitrógeno se localizan entre 6 y 14 Mg ha^{-1} , por lo que al igual que en las figuras 4.44 y 4.45, para estos valores de biomasa sólo se define la asíntota de la hipérbola, lo que podría equivaler al mantenimiento de un casi constante porcentaje de N, durante el proceso de bulbificación, para alcanzar valores máximos de materia seca. En otros valores de biomásas también recopilados por estos autores (Greenwood *et al.*, 1992) e inferiores a 1 Mg ha^{-1} se observa que, para prácticamente una misma biomasa, existe una gran variabilidad en los contenidos de nitrógeno, entre $3,5 - 5 \%$. Por consiguiente, en los estados iniciales (biomasa inferior a $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), cuando una pequeña fracción de la radiación es interceptada por el cultivo, y cuando la biomasa se compone básicamente de material metabólico, la recomendación de niveles de N óptimos se aproximaría también a una relación en donde los contenidos mínimos en hoja sobre materia seca se situarían por encima del 3% . Este valor coincide con los valores mínimos de contenidos de N medidos en los experimentos de riego de alta frecuencia (figuras 4.44 y 4.45). El valor de 3% de N también coincide con el de los valores óptimos de contenido de nitrógeno en la tercera hoja superior verde expandida (Pankov, 1984) o con el contenido en hojas centrales maduras a mitad del período de crecimiento Bergmann (1992) e incluso con los dos muestreos anteriores al inicio del crecimiento exponencial, en las condiciones de riego infrecuente del experimento 4.3 (figura 4.34). También coincidiría con resultados obtenidos en puerros por Booij *et al.* (1996), de manera que en este cultivo es necesario mantener entre el $2,8$ y el $3,1 \%$ de N durante la fase de crecimiento para mantener máximas producciones de biomasa. A partir del inicio de la plena bulbificación, una vez los limbos alcanzan su máximo crecimiento, las producciones potenciales máximas irían ligadas a contenidos casi constantes de N en planta (figuras 4.44 y 4.45), aunque con valores superiores a los niveles de nitrógeno crítico sugeridos por Greenwood *et al.* (1992) cuando la biomasa supera los 5 Mg ha^{-1} .

Sin embargo, en nuestras condiciones climáticas, no siempre un menor crecimiento de los limbos en riego infrecuente (figura 4.23) en relación al riego de alta frecuencia (cuadro 6.19) implica bajas producciones. El experimento 4.3

correspondiente al balance de nitrógeno en condiciones de riego infrecuente ilustra la afirmación anterior. La curva de dilución (figura 4.34) indicaría un déficit de contenidos de nitrógeno en planta aunque exista plena disponibilidad en cuanto a contenido de N-NO_3^- en el suelo (figura 4.41) y se alcancen producciones de $96.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de peso fresco (figura 4.26), aproximadamente 8500 kg ha^{-1} en peso seco (figura 4.24). También puede considerarse la misma situación en V. de Grano 94 (figura 4.44) en donde, a pesar de hallarse por debajo del nivel de N crítico, se alcanzan producciones de 9620 kg ha^{-1} de materia seca, semejantes a las obtenidas por Greenwood *et al.* (1992) en situaciones en que la deficiencia de nitrógeno no limitaba el crecimiento. No obstante, sí que es cierto que las producciones en V. de Grano 94 (cuadro 6.30) son inferiores a las obtenidas en el experimento 4.4 (cuadro 2.86) o en el experimento 6.1 (cuadro 6.12) también bajo riego de alta frecuencia, por lo que la dilución o los contenidos de N en relación a la biomasa por debajo de N crítico, a partir del inicio de la bulbificación, indicarían limitaciones en el crecimiento de la planta, no únicamente por la disponibilidad de N sino incluso por otros factores limitantes. Dentro de esta limitación cabe pensar en cebolla en la aceleración del inicio de la bulbificación y senescencia de hojas verdes debido a temperaturas elevadas. En estas condiciones el engrosamiento de las vainas se produciría con un menor índice de área foliar por tanto con una relación en peso, limbo/vaina, inferior, tal como se observa comparando los experimentos de 1992 (figuras 2.14, 2.15 y 2.20) respecto al de 1994 (cuadro 6.19 y figura 6.22).

Existe también una disminución de los contenidos de N en limbos, las hojas más viejas con mayor sombreado contienen menos N que las jóvenes y su senescencia va acompañada de removilización del N hacia los órganos de crecimiento.

En el experimento de 1994 el factor de distorsión limitante podría estar relacionado con los elevados contenidos de nitrógeno en los primeros centímetros (figura 6.34) ya que, según los autores anteriores, al incrementar la cantidad de N mineral en el suelo (y aunque no se supere en una sola aplicación 150 kg N ha^{-1}), se produce una disminución del crecimiento inicial de las plantas debido a disminuciones en el potencial osmótico. La cantidad de biomasa producida se compensa posteriormente, en estados más avanzados, debido a la mayor disponibilidad de N.

Este mismo efecto depresivo y su repercusión en la disminución de la producción final como consecuencia de altas aplicaciones de nitrógeno ($150 - 200 \text{ kg N ha}^{-1}$, en forma de nitrato amónico cálcico antes de la siembra), fue observada por De Visser, Van den Berg y Niers (1995). Estos autores suponen, utilizando un modelo de crecimiento de cebolla (De Visser, 1994), que disminuciones en la tasa relativa de crecimiento inicial de un 10% repercuten disminuyendo la producción final en un 3%.

La gran disponibilidad de nitrógeno podría también explicar los elevados contenidos en las vainas envolventes en 1994 respecto a 1992 (figura 4.43), aunque el consumo de lujo de N en cebollas es bajo (Greenwood *et al.*, 1992).

Los elevados contenidos de nitrógeno residual al final de ciclo bajo condiciones de riego infrecuente (figura 4.42) hacen recomendable desde el punto de vista agronómico, si no es posible optimizar el riego, no únicamente una mejor programación de la aplicación de fertilizante sino también la siembra tras la cebolla de un cultivo de mayor enraizamiento en profundidad, exigente en N y que permita extraer este nitrógeno, incluso se podría prescindir del abonado nitrogenado para este cultivo posterior al de cebolla, con un adecuado manejo del agua de riego y siempre que las precipitaciones no produjesen una importante lixiviación.

4.5.2. Contenidos de fósforo en cebolla de forma fraccionada, extracciones y exportaciones

En un periodo entre 30 y 40 días, en condiciones de intensificación de la producción tras el inicio de la bulbificación y un poco más tarde en algunos cultivares bajo condiciones de estrés hídrico, la planta extrae entre el 70 - 80 % del fósforo total que extraerá a lo largo de su ciclo (figuras 4.12 y 4.58). Ello explica que algunos autores (Kageyama *et al.*, 1958) consideren que las aplicaciones de fósforo son importantes en el periodo de rápido crecimiento y que aplicaciones posteriores tengan poca influencia en los rendimientos. Este hecho, al igual que para el nitrógeno, condiciona la capacidad del abonado de fondo para cubrir las necesidades de fósforo de la planta durante la fase de rápido crecimiento y de extracción importante de P en la zona. Ello es debido a que en suelos de la zona, con un pH alrededor de 8 y ricos en carbonatos, el fósforo queda más o menos fijado en compuestos complejos de calcio (Hagin y Tucker, 1982), lo que dificulta su disponibilidad para las plantas.

El incremento de la frecuencia de riego permite aumentar las extracciones de fósforo (figura 4.58) respecto al riego por inundación (figura 4.12), de forma que globalmente casi se cuatuplican las extracciones. Ello puede explicarse no únicamente por un incremento de la producción de biomasa y de los rendimientos, sino por un mayor contenido por unidad de biomasa (figuras 4.2 y 4.46), particularmente en recolección (cuadros 4.8 y 4.10).

El manejo del agua de riego permite desplazarse desde niveles deficitarios de fósforo según los intervalos del cuadro 4.1 a niveles óptimos. Esta respuesta positiva de la absorción de fósforo a la frecuencia de riego resulta lógica ya que el fósforo es un nutriente que se moviliza hacia la planta casi únicamente por difusión (Fitter y Hay, 1987), siendo además el coeficiente de difusión de $H_2PO_4^-$ muy bajo (varios órdenes de magnitud) en relación al de otros cationes y aniones, coeficiente de difusión que evidentemente disminuye al secarse el suelo (ecuación 4.2).

Los contenidos de P en la vaina envolvente, una vez iniciado el proceso de bulbificación, se mantienen constantes en situaciones de plena disponibilidad de este nutriente, observaciones que coinciden con los resultados en recolección según Greenwood *et al.* (1980b) que indicaban que al incrementarse la fertilización fosforada desde niveles óptimos a máximos, prácticamente no se modificaban los contenidos de P en bulbo. Estas observaciones indican que no son directamente aplicables los principios de la curva de dilución al fósforo, y las disminuciones marcadas en los

contenidos a lo largo del ciclo por algunos autores (Greenwood *et al.*, 1980a) indicarían limitaciones en la disponibilidad de este nutriente, tal como se observa en la figura 4.2, a consecuencia de limitaciones en la disponibilidad hídrica.

Brewster, Bhat y Nye (1975) en un estudio realizado durante un mes en plántulas recién emergidas de cebolla, tampoco pudieron relacionar los contenidos de P con altas tasas de crecimiento relativo. Incluso observaron extracciones de P superiores a las necesidades de crecimiento.

En recolección, bajo riego de alta frecuencia, también se observa que V. de Grano (cuadro 4.10) presenta un contenido de P por unidad de biomasa que tiende a ser superior al de los cultivares aptos para deshidratación, aunque debido a la falta de mayor número de datos, no se puede afirmar que exista un consumo de lujo.

Los análisis del bulbo en recolección no permiten determinar si los niveles de fertilización fosforada han sido los óptimos o han sido excesivos, pero sí pueden indicar si ha existido déficit en el suministro a la planta, tal como se puede observar comparando las figuras 4.2 y 4.46.

No se ha podido establecer en condiciones de disponibilidad hídrica no limitantes una relación lineal entre los contenidos de fósforo y nitrógeno a lo largo del ciclo (figura 4.47), tal vez debido a la propia dinámica en la evolución de los contenidos de fósforo que, en vez de disminuir con el incremento de biomasa como ocurre con el nitrógeno (figura 4.44), tienden a disminuir ligeramente al inicio de ciclo, con oscilaciones posteriores alrededor de un valor más o menos estable (figura 4.46). Esta poca variación en los contenidos porcentuales de fósforo a lo largo del ciclo de cultivo coincide con los resultados obtenidos por Duque, Perdomo y Jaramillo (1989) en la variedad Ocañera, aunque los contenidos de P en bulbo obtenidos en los ensayos de este capítulo sean inferiores al de los autores citados.

Si se comparan también las tasas máximas de extracción de nitrógeno y fósforo se observa que los valores obtenidos en condiciones de riego infrecuente, con una relación 10:1 (figuras 4.11 y 4.12), coinciden con los de Valenciana de Grano'94 en condiciones de riego de alta frecuencia (figuras 4.56 y 4.58). En cambio en 1992 (figuras 4.56 y 4.58) se favoreció al intensificar la frecuencia de riego la absorción de fósforo, con un relación de las tasa máximas de extracción N:P entre 5:1 (Staro) y 8:1 (Valenciana de Grano'92).

4.5.3. Contenidos de potasio en cebolla de forma fraccionada , extracciones y exportaciones

En condiciones de estrés hídrico, V. de Grano es capaz de traslocar al bulbo mayor cantidad de potasio si comparamos con los cultivares aptos para deshidratación (figura 4.3), ventaja que desaparece al incrementar la disponibilidad de agua en el suelo (figura 4.48). Resulta difícil explicar los resultados de la figura 4.3 al ser el potasio un elemento muy móvil en la planta, tal vez podría hallarse relacionado con un mayor o más rápido crecimiento radicular de V. de Grano respecto a otros cultivares (tal como se ha observado en el capítulo 3) que favorecería la absorción de fósforo ya

comentada y también de potasio. La mayor absorción de K por V. de Grano permitiría a su vez adaptarse mejor a las condiciones de estrés hídrico por el papel de este catión en la osmoregulación y relaciones hídricas en las plantas (Marschner, 1983), aunque en este caso no se observe una producción final de biomasa en bulbo superior (cuadro 4.8).

La separación de las dos curvas de extracciones de potasio para Valenciana de Grano en el experimento 4.4 (figura 4.59), bajo condiciones de riego de alta frecuencia, se explica de la misma manera que para la evolución del nitrógeno (figura 4.56) es decir, debido a la distinta densidad empleada y a las diferencias en el crecimiento y duración del periodo de bulbificación.

La mayor disponibilidad de agua en el suelo incrementa también al final de ciclo las exportaciones de potasio (cuadro 4.10) superando incluso a las de la recopilación bibliográfica efectuada (cuadro 4.2). En cebolla, las exportaciones de K ante niveles de fertilización máximos (entre 600 - 700 kg K ha⁻¹) se duplican frente a aplicaciones consideradas óptimas (120 - 140 kg K ha⁻¹) para unas determinadas producciones (Greenwood *et al.*, 1980c). En base a la cita anterior, las exportaciones obtenidas en este capítulo, bajo riego de alta frecuencia, con un valor de 358 kg K ha⁻¹, superiores incluso a las del nitrógeno, pudieran estar mayoradas (duplicadas) debido a un consumo de lujo.

El declive de las concentraciones de potasio al avanzar el ciclo se relaciona, en ausencia de estrés hídrico, de forma lineal con las concentraciones de nitrógeno (cuadro 4.9), lo que indica que a partir del modelo de niveles críticos que se ajustase para el nitrógeno en relación al incremento de biomasa (figura 4.44), podría deducirse un nuevo modelo en cebolla para la evolución de los niveles críticos de potasio.

4.5.4. Contenidos de calcio en cebolla de forma fraccionada , extracciones y exportaciones

Los contenidos de calcio en limbo son marcadamente superiores en condiciones de riego infrecuente (figura 4.4) respecto al riego de alta frecuencia (figura 4.50), aunque estas diferencias no son tan relevantes en los contenidos en bulbo.

Marschner (1990) indica que se pueden observar incrementos en el contenido de calcio en las hojas al incrementar la concentración de Ca^{2+} en la solución externa y este incremento puede no observarse en otros órganos que son alimentados vía floema ya que la movilidad del Ca^{2+} vía floema es muy baja. También podría ir ligado a mecanismos de osmoregulación, la formación de una pequeña cantidad de oxalato cálcico soluble permite una acumulación de sales en las vacuolas sin incrementar la presión osmótica en las mismas (Marschner, 1990). Incrementos en la concentración de Ca en cebolla, al disminuir el potencial de agua en el suelo, han sido también descritos por Hedge (1988).

Los mayores contenidos de calcio para V. de Grano en hoja en 1994 respecto a 1992 en los tres últimos muestreos se explican por estar en 1994 las fechas de muestreo más cercanas a la madurez (cuadro 6.29 y 2.85), lo que frenaría aún más la movilidad del calcio.

La pérdida tan marcada de los contenidos de Ca en la planta que se inicia meses antes de la recolección (figuras 4.14 y 4.60) puede atribuirse a una pérdida de limbos verdes sin que el contenido de Ca se trasloque al bulbo aunque V. Grano no presenta esta tendencia hasta avanzado el proceso de bulbificación.

Las mayores exportaciones de V. de Grano respecto a los otros cultivares en condiciones de riego infrecuente (experimento 4.1) podrían asociarse a un mayor crecimiento radicular de este cultivar, hecho que se ha observado respecto a otros cultivares (capítulo 3) y que favorecería la absorción de Ca^{2+} . Así en el experimento 4.1 mientras los cultivares Albeno, Albion y BAV-E58 presentan en madurez unos valores inferiores en hojas y bulbo a la media obtenida por Mathur, Lévesque y Sanderson (1989), los contenidos en V. de Grano, y tal como se observa comparando la figura 4.4 y el cuadro 4.2, se incluirían dentro del intervalo de los valores medios obtenidos por dichos autores.

No obstante en base a otros autores recopilados en el cuadro 4.1 las interpretaciones de los contenidos de Ca en limbos en el experimento citado (4.1) son distintas. Así según Mills y Jones (1996) se sitúan por encima del intervalo óptimo en el periodo de mitad de crecimiento a inicio de madurez, aunque a mitad de madurez podría situarse en el intervalo óptimo. Para Pankov (1984), que únicamente analiza la tercera hoja verde superior expandida, el contenido de Ca sería excesivo. También se superan, triplican incluso, los contenidos óptimos para hojas centrales maduras obtenidos por Bergmann (1992).

Comparando con las condiciones de riego infrecuente (figura 4.14), las tasas máximas de extracción de Ca en cebolla bajo condiciones de riego de alta frecuencia, concretamente para Staro y S.W.G., prácticamente no se habrían

modificado, en cambio V.de Grano (año 1992), sí es capaz de incrementar la tasa de extracción al aumentar la disponibilidad hídrica.

Las menores exportaciones de calcio por unidad de peso seco en V. de Grano de 1994 respecto 1992 podrían estar también relacionadas con las menores exportaciones de sodio en 1994 (cuadro 4.10), ya que las necesidades de Ca^{2+} se incrementan al incrementar la concentración externa de cloruro sódico (Marschner, 1990).

Las exportaciones de calcio por cada 1000 Mg de materia seca son muy variables (cuadros 4.8 y 4.10), entre 3 y 6 kg. En S.W.G. coinciden con las exportaciones citadas por Zink (1966). El intervalo de exportaciones observado puede deberse a la suma de dos factores, dificultades en el transporte de calcio hacia el bulbo y dilución por engrosamiento del bulbo.

4.5.5. Contenido de magnesio en cebolla de forma fraccionada, extracciones y exportaciones

Los contenidos de Mg en los limbos de los cultivares Albeno y Albion, en condiciones de riego infrecuente (experimento 4.1), a partir del tercer muestreo (10 de junio, 138 días desde la siembra), cercano el inicio de la bulbificación (cuadro 2.38), podrían relacionarse con una carencia secundaria o inducida por los elevados contenidos de calcio en hoja (figura 4.4) de estas plantas. De todas maneras señalar que para Pankov (1984) no serían niveles deficitarios sino bajos (cuadro 4.1).

En condiciones de riego de alta frecuencia los contenidos de Mg en limbos (figura 4.51) son altos según Pankov (1984) aunque dentro de los intervalos óptimos para otros autores (cuadro 4.1).

Las extracciones de magnesio acumuladas en limbo son inferiores en riego infrecuente (figura 4.15) respecto al riego de alta frecuencia (figura 4.61), e incluso en el primer caso (riego infrecuente), tras un cierto déficit en los contenidos durante la bulbificación, se aprecia una tendencia final a incrementarlos (figura 4.5). En el segundo caso de plena disponibilidad hídrica (figura 4.51) se observa una disminución y cierta estabilización final en los contenidos.

Los mayores contenidos de Mg en condiciones de plena disponibilidad de agua van ligados al mayor crecimiento de las plantas, ya que la fijación del carbono y su partición entre los cloroplastos y el citoplasma, así como su utilización en la metabolización del nitrógeno, depende en parte de la concentración de los iones Mg^{+2} en los cloroplastos (Guardiola y García, 1990). Los cloroplastos contienen cerca del 20 % del Mg total de las hojas.

En bulbo, los contenidos seguirían el principio de dilución. Los contenidos de magnesio de forma fraccionada obtenidos y a excepción de los contenidos en limbos de los cultivares Albeno y Albion del experimento 4.1 (figura 4.5), pueden considerarse normales en base a los valores expuestos por diversos autores (cuadro 4.1). Al igual que para el Ca, los resultados de contenidos de Mg en recolección coincidirían con los obtenidos por Mathur, Lévesque y Sanderson (1989), también con Painter (1980), Zink (1966) y Sher (1996).

Al incrementar la disponibilidad hídrica, las tasas de extracción de Mg son más constantes hasta plena bulbificación (figuras 4.15 y 4.61), aunque con valores que triplican a los obtenidos en el experimento 4.1 (condiciones de riego infrecuente). Para cada uno de los experimentos realizados (experimento 4.1 y 4.4) las tasas máximas de extracción de magnesio (figuras 4.15 y 4.61) son semejantes a las del fósforo (figuras 4.12 y 4.58).

Las exportaciones de magnesio oscilan entre 0,8 y 1,4 kg por cada 1000 Mg de materia seca en recolección. Se observa en condiciones de riego de alta frecuencia (cuadro 4.9), que menores contenidos de magnesio en recolección coinciden con mayores contenidos de potasio y calcio, lo que evidencia el antagonismo entre estos cationes.

4.5.6. Contenidos de sodio y micronutrientes en cebolla de forma fraccionada, extracciones y exportaciones

En este apartado se discute en diferentes epígrafes los contenidos, extracciones y exportaciones de sodio y micronutrientes obtenidos para la cebolla en los distintos experimentos planteados.

4.5.6.1. Sodio

El sodio no es un nutriente esencial, aunque muchas plantas presentan respuestas positivas en su crecimiento y en algunas, como en coliflor (Sharma y Singh, 1992), puede atenuar los efectos de una carencia de potasio.

Existe escasa información sobre los contenidos de sodio en cebolla. Los obtenidos tanto en riego infrecuente (figura 4.10) como en riego de alta frecuencia (figura 4.55) a lo largo de su ciclo y de forma fraccionada, se incluirían dentro de los recopilados en el cuadro 4.1 aunque las extracciones máximas de sodio en 1992 (experimento 4.4) se triplican respecto al experimento 4.1 (figura 4.55).

Los contenidos de sodio en bulbo en recolección, para ambos sistemas de riego, se situarían comparando con los descritos en la bibliografía (cuadro 4.1), dentro de los márgenes posibles, pudiendo superar incluso los contenidos de magnesio. Se hallan, no obstante, alejados de los contenidos máximos descritos en la bibliografía (Wolnik *et al.*, 1985), que pueden ser unas diez veces superiores.

En relación al potasio, y como ya se ha indicado en riego infrecuente (experimento 4.1), los perfiles de los contenidos de sodio y potasio sobre materia seca se hallan invertidos (figuras 4.3 y 4.10), pudiendo indicar la substitución de los cationes. Ello contrasta con diversos trabajos realizados en cebolla (Flowers y Läuchli, 1983) en donde las plantas no respondían con un incremento de su crecimiento a las aportaciones de sodio, tanto con suministros deficitarios o altos de K. No obstante cabe señalar que se trataba de trabajos de fertilización, no de riego. Además, los autores citados señalan que el sodio puede substituir al K en su papel en el potencial osmótico, en consecuencia, en la generación de turgencia. El Na puede ser tan efectivo como el K en la expansión foliar. En este aspecto sería necesaria una mayor investigación en cebolla.

Al incrementar la frecuencia de riego y cuando existe plena disponibilidad de agua y potasio, no se observa esta relación y simplemente el sodio extraído se va acumulando en las hojas.

4.5.6.2. Micronutrientes

En los contenidos de micronutrientes en recolección y según el sistema de riego, destacan los menores contenidos de Fe y Mn al disminuir la frecuencia de riego (cuadros 4.8 y 4.10). En condiciones de riego infrecuente (experimento 4.1), los contenidos de Fe en bulbo a recolección (cuadro 4.8) son bajos y, con excepción de Ajakaiye y Greig (1976), se hallarían por debajo de los recopilados en la bibliografía (cuadros 4.1 y 4.2).

En relación al Mn señalar que en la bibliografía consultada (cuadros 4.1 y 4.2) existe una cierta variabilidad en los contenidos en bulbo y en recolección. En riego de alta frecuencia los contenidos en bulbo en la recolección (figura 4.53) se aproximan a los obtenidos por Mathur, Lévesque y Sanderson (1989), siendo inferiores a otros autores (cuadro 4.2) y sin que ello indique deficiencia. Respecto a los valores más bajos obtenidos en condiciones de riego infrecuente (figura 4.7) tampoco puede afirmarse que sean deficitarios.

Estos menores contenidos bajo riego infrecuente (experimento 4.1) respecto al de alta frecuencia (experimento 4.4) se observan también en limbo. Así a lo largo del ciclo de cultivo se observan niveles bajos de Fe (figura 4.6) y niveles deficitarios en Mn (figura 4.7), comparando con los intervalos definidos como óptimos (cuadro 4.1), a partir del rápido crecimiento foliar, concretamente a partir del tercer muestreo (10 de junio) y hasta madurez.

Las necesidades máximas diarias de manganeso en condiciones de riego de alta frecuencia en 1992 (figura 4.63) casi se triplican respecto a las del experimento 4.1 (figura 4.17).

La mayor absorción de Fe y Mn tal vez podría hallarse más directamente asociada a las distintas condiciones edáficas de las parcelas, variaciones de pH y contenido de carbonatos (cuadros 2.7 y 3.1) que al propio manejo del agua de riego, aunque la mayor disponibilidad hídrica facilite su absorción. Así se observa en el experimento 4.4 con riego de alta frecuencia que en la evolución de los contenidos en limbo, éstos son elevados (figura 4.53). En realidad se encuentran entre los valores altos recopilados en la bibliografía (cuadro 4.1), indicando que a pesar del pH básico de la parcela, ha existido disponibilidad plena de este micronutriente.

Las cebollas responden a la mayor disponibilidad de Mn adquiriendo un color más verde o verde-azulado en los limbos (Nylund, 1952) y aunque si que se observó un verde más intenso de las plantas bajo condiciones de riego de alta frecuencia, resulta difícil asociarlo a los mayores contenidos de Mn únicamente.

Con independencia del sistema de riego utilizado el mayor contenido de manganeso en las hojas en relación al bulbo (figuras 4.7 y 4.53) se traduce en unas extracciones que duplican las exportaciones (figuras 4.17 y 4.63).

Los contenidos de los otros micronutrientes y con independencia del sistema de riego se situarían dentro del intervalo hallado en la bibliografía (cuadro 4.1). Constituye una excepción el contenido de Cu en limbos (figura 4.8). La realización de tratamientos fitosanitarios con productos que contenían este catión podría conllevar que los contenidos de Cu en hoja se situasen por encima de los recopilados (cuadro 4.1). Es curioso destacar que a pesar de ello los contenidos en bulbo (figura 4.8) se ajustan a la recopilación bibliográfica (cuadros 4.1 y 4.2).

En relación a las tasas máximas diarias de extracción de cobre obtenidas y debido a los tratamientos fitosanitarios mencionados, puede que éstas no se correspondan con las necesidades máximas diarias de este micronutriente.

El hecho de que no se observe una acumulación de este micronutriente en bulbo (figura 4.8) sí que permite considerar que las exportaciones (cuadro 4.8) no se hallan mayoradas por los tratamientos fitosanitarios mencionados.

En relación a los contenidos de Zn en limbo, las fluctuaciones observadas en el experimento 4.1 bajo condiciones de riego infrecuente (figura 4.9) probablemente se hallen influenciadas por los tratamientos fitosanitarios (cuadro 2.8). En limbos los contenidos de Zn (figura 4.9) se presentarían incluidos dentro de los rangos definidos como óptimos en la bibliografía (cuadro 4.1). Los contenidos de Zn en bulbo y en recolección (experimento 4.1) se hallarían dentro de los valores obtenidos por otros autores (cuadro 4.2), aunque existe mucha diversidad según las condiciones en que se hayan realizado los experimentos. Bajo riego infrecuente, en las extracciones de zinc (figura 4.19) tampoco se puede afirmar que éstas sean muy elevadas a pesar de la aplicación de Zineb como producto fitosanitario (cuadro 2.8) lo que hubiese podido aumentar estos contenidos.

En relación a los contenidos de Zn según el sistema de riego, éstos disminuyen comparativamente en riego de alta frecuencia (figura 4.54) respecto al riego infrecuente (figura 4.9). Los contenidos de Zn en limbo al incrementarse la disponibilidad hídrica (experimento 4.4) y comparando con los intervalos óptimos establecidos por distintos autores (cuadro 4.1), se hallarían en el límite inferior o por debajo de dichos intervalos. Los contenidos de Zn en bulbo respecto a los recopilados en los cuadros 4.1 y 4.2 serían también inferiores.

Estos menores contenidos de Zn al incrementar la disponibilidad hídrica podrían explicarse en relación a los contenidos de fósforo, contenidos que a diferencia del Zn se han incrementado a mayor disponibilidad hídrica. Así estas variaciones con tendencias opuestas podrían explicarse por un antagonismo P/Zn también descrito en cebolla por Asif, Khan y Ajakaiye (1976) en Nigeria, aunque bajo otras condiciones edafoclimáticas.

Las extracciones máximas de zinc en condiciones de riego de alta frecuencia (figura 4.64) adoptan valores parecidos a los obtenidos en V. de Grano en condiciones de riego infrecuente (figura 4.19) es decir, prácticamente no se han visto modificadas por el sistema de riego

4.5.7. Suministro de macronutrientes y nutrientes secundarios mediante difusión

Las diferencias de concentración máximas entre la concentración media de la solución del suelo en el volumen explorado por las raíces y la concentración de la solución del suelo en la superficie radicular se producen en los estados iniciales (figuras 4.72 a 4.77), cuando la profundidad de suelo explorada es de 20 cm, debido a los bajos valores de densidad de longitud radicular.

Las diferencias de concentración necesarias que se han calculado para mantener el flujo de nutrientes son muy sensibles al contenido de agua en el suelo. Al disminuir el contenido de agua se dificulta el transporte de nutrientes y son necesarios mayores gradientes de concentración. También son sensibles al radio de la raíz, pero en base a las observaciones realizadas conjuntamente con el estudio de la longitud y distribución radicular (capítulo 3), prácticamente todas las raíces presentarían el mismo radio que se ha utilizado en los cálculos.

La tasa máxima de extracción de macronutrientes por unidad de longitud radicular (figuras 4.62 a 4.65) en forma de NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+ o de nutrientes secundarios calcio y magnesio (figuras 4.66 y 4.67) respecto a las recopiladas por Barraclough (1987), son marcadamente superiores a las del trigo de invierno de 15-75 días de edad (las de cebolla cuadruplican a las del N, triplican a las del P y duplican a las del K), y son inferiores a los del maíz de 42 días de edad altamente productivo, (en cebolla son aproximadamente la mitad para el N y el K y dos tercios para el P).

Si se comparan las tasas máximas de extracción de N en forma amoniacal ($101 \cdot 10^{-12} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) o nítrica ($54 \cdot 10^{-12} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para un radio de raíz $r = 0,0262 \pm 0,02 \text{ cm}$ obtenidos en cebolla en ambiente controlado por Abbès *et al.* (1995) durante un periodo de 28 a 84 días, con los obtenidos en los experimentos de campo, estos últimos, en campo, presentan unas tasas de extracción más bajas, lo que se traduce en una necesidad de mayor concentración de la solución. Las diferencias se explican porque las plantas en ambiente controlado crecieron en una solución nutritiva, por lo que se anula el factor suelo en la disponibilidad de nutrientes, además las concentraciones de nutrientes en las plantas bajo ambiente controlado se situaban en el intervalo de exceso o consumo de lujo.

En una recopilación bibliográfica, Asher (1987) destaca el contraste existente entre las concentraciones reales de nutrientes en la solución del suelo y las de las soluciones nutritivas utilizadas en laboratorios. Así, por ejemplo, para los contenidos en nitratos, las soluciones nutritivas en laboratorio pueden presentar concentraciones entre diez y treinta veces más elevadas de las medidas en campos cultivados.

El valor crítico de nitrógeno en forma nítrica para mantener el suministro mediante difusión (figura 4.70) de $350 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$, equivalente a 3 kg N ha^{-1} , es un valor bajo y, por tanto, no limitante. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Robinson y Rorison (1983) de manera que, sólo en situaciones de extrema disminución de los contenidos de nitratos en el suelo, la tasa máxima de extracción de estos nitratos dependería de la producción de una mínima cantidad de raíces por unidad de volumen de suelo.

El valor crítico de fósforo en la solución del suelo para mantener el suministro mediante difusión (figura 4.74) de $33 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ coincide con el valor crítico encontrado por Costigan (1986) en lechuga y en experimentos de campo. En estos experimentos se necesitaba, para un crecimiento óptimo, una concentración de fósforo en la solución del suelo superior a $1 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$ ($32 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$). En los cálculos no se ha considerado en cebolla el papel de las micorrizas que favorecen la absorción radicular de fósforo en cebolla según se observa en los trabajos recopilados por Brewster y Tinker (1972), aunque en general, su influencia es importante en suelos con bajos contenidos de fósforo y es prácticamente despreciable en suelos con niveles adecuados de fertilización fosfatada.

El valor crítico de potasio en la solución del suelo para mantener el suministro mediante difusión (figura 4.73) de $126 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$, sería la mitad del obtenido en maíz a los 42 días tras la siembra ($242 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$) por Barraclough (1987), para unas condiciones semejantes de contenido volumétrico de agua en el suelo ($\theta_v = 0,38$), considerando una profundidad de 75 cm y semejante factor de impedancia ($f_i = 0,24$). En estas comparaciones existen dos factores de distorsión, el primero es el elevado crecimiento radicular obtenido en cebolla, que se potencia con el riego de alta frecuencia (capítulo 3) y que favorece la absorción radicular; otro factor es la propia comparación con un cultivo de primavera como el maíz, con una tasa de crecimiento inicial importante que implica una elevada demanda de nutrientes. La disminución de la demanda de potasio por unidad de longitud radicular (figura 4.69) al avanzar el ciclo es el resultado del incremento de la longitud radicular en relación a la biomasa aérea (capítulo 3) y de la reducción de los contenidos de potasio en los tejidos (figura 4.48).

Las concentraciones máximas en la solución del suelo de calcio duplican y las de magnesio son muy superiores a los obtenidos en colza por Barraclough (1989b) para satisfacer las demandas máximas.

La diferencia de concentración máxima entre la solución del suelo y la superficie radicular (figura 4.73) de $125 \text{ } \mu\text{M Ca}^{2+}$, coincide con las observaciones de Loneragan, Snowball y Simmons (1968) y Loneragan y Snowball (1969) que obtuvieron las tasas de crecimiento relativas máximas a concentraciones de $100 \text{ } \mu\text{M Ca}^{2+}$ en tomate, valor muy diferente de los obtenidos en ryegrass ($2,5 \text{ } \mu\text{M Ca}^{2+}$) o alfalfa ($1000 \text{ } \mu\text{M Ca}^{2+}$) por estos mismos autores. No obstante, no se puede afirmar que las necesidades de calcio, en realidad concentración en la solución del suelo para un óptimo crecimiento, sean mucho más inferiores en monocotiledóneas que en dicotiledóneas.

Respecto al magnesio, la diferencia de concentración de $68 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ coincide con el extremo superior del intervalo de concentraciones necesario en la rizosfera para un adecuado crecimiento de las plantas, obtenido por Asher (1987), en diversos experimentos utilizando soluciones nutritivas de distintas concentraciones.

Los resultados obtenidos para el calcio y el magnesio, aunque coincidentes con otros resultados obtenidos en experimentos utilizando soluciones nutritivas, deben de ser evaluadas con prudencia. Ello es debido a que en un

experimento realizado por Brewster y Tinker (1970) con otra aliícea, concretamente en puerro, se indicaba que el Ca y el Mg son suministrados a la planta mayoritariamente por flujo de masas.

Las diferencias entre cultivos halladas al realizar las comparaciones de concentraciones máximas de nutrientes entre la solución del suelo y la superficie radicular, se explican por las diferencias en el crecimiento radicular y la demanda de nutrientes entre cultivos que, a su vez, se halla ligada a las condiciones ambientales (radiación, temperatura), predominantes en el ciclo de cultivo. Así, el maíz sembrado a finales de primavera tiene unas mayores necesidades iniciales debido a la alta demanda de nutrientes y su limitado sistema radicular, posteriormente, a una edad de 87 días, no existirían diferencias con los valores encontrados en cebolla (figuras 4.62 y 4.63).

Las tasas máximas de extracción obtenidas en riego de alta frecuencia para los macronutrientes de $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, y de $5 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, se aproximan a las tasas máximas de extracción obtenidas por Mengel y Barber (1974) en maíz, especialmente para el fósforo, con valores de 9,5 N; 1,0 P y 11,6 K ($\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$). Cabe destacar la importancia de conocer los contenidos críticos en la solución del suelo en el nuevo sistema de riego ya que casi se triplican las tasas máximas de extracción en relación al sistema de riego tradicional.

El potencial de extracción y el modelo de crecimiento radicular de la cebolla (capítulo 3), implica que en ausencia de fertirrigación es importante la aplicación del fertilizante cerca de las plántulas para favorecer el crecimiento inicial. Las tasas máximas de extracción en relación al sistema radicular, por ejemplo, en relación a los cultivos anteriormente citados, avalan los resultados de Greenwood *et al.* (1980b, c) que indican que las cebollas requieren unos niveles de fertilidad en el suelo superiores al de otras hortícolas para alcanzar producciones máximas.

También cabe señalar que los resultados anteriores sobre suministro de nutrientes mediante difusión suponen plena disponibilidad hídrica, ya que si existiesen cambios amplios en el contenido de agua en el suelo, el suministro de K, por ejemplo, se vería condicionado por afectar la movilidad de este macronutriente, pero también por reducir el crecimiento radicular (Kuchenbuch, Claassen y Jungk, 1986a).

Las concentraciones críticas podrían incrementarse si se considerase que con la edad disminuyese la capacidad de las raíces para absorber nutrientes, no obstante, como las concentraciones máximas necesarias se producen en los estados iniciales, este factor es despreciable.

4.6. CONCLUSIONES

- En condiciones de riego infrecuente debe limitarse la aplicación de abonado nitrogenado como abonado de fondo antes del primer riego por los riesgos de lixiviación y las bajas extracciones iniciales del cultivo. Por consiguiente, recomendaciones basadas en el contenido de nitrógeno mineral (N_{\min}) en el suelo antes de la siembra, no aseguran una correcta fertilización.
- En condiciones de estrés hídrico, es la disminución de los contenidos de N en bulbo, frente a los contenidos en limbo, la que manifiesta de forma más acusada limitaciones en el suministro de este nutriente.
- Valenciana de Grano, en condiciones de disponibilidad hídrica condicionantes, tiende a mantener en planta contenidos de macronutrientes (N, P y K) y de nutrientes secundarios (Ca y Mg) más elevados que otros cultivares, Albino, Albion y BAV-E58, lo que repercute en unas mayores exportaciones por unidad de biomasa y confirma la idoneidad de este cultivar para zonas semiáridas.
- En cobertera, el fraccionamiento del abonado nitrogenado en varias aplicaciones, en el sistema de manejo tradicional, mediante riego por escorrentía, no afecta a la cantidad de N residual en el suelo ni a las extracciones por parte del cultivo, tampoco a las producciones. No obstante, debido a la evolución desde la siembra del nitrógeno en forma nítrica en el suelo, resulta imprescindible la realización del abonado nitrogenado en cobertera.
- Las extracciones máximas diarias de nutrientes se producen al iniciarse el proceso de bulbificación, lo que refuerza la importancia de una adecuada disponibilidad de nutrientes no únicamente en siembra sino a lo largo de toda la estación de cultivo, especialmente en el periodo citado.
- El incremento en la frecuencia de riego favorece particularmente la absorción de fósforo, hierro y manganeso, lo que se traduce en un aumento de los contenidos por unidad de biomasa, duplicándose para el macronutriente y casi triplicándose para los micronutrientes.
- La pauta de extracción del fósforo en cebolla, con concentración del 70 - 80 % de las extracciones a mitad del ciclo de cultivo y en un periodo próximo a un mes, desaconseja la práctica de aportación de este nutriente únicamente en el abonado de fondo y aconseja al menos una aportación posterior, antes del inicio de la bulbificación, al igual que para el nitrógeno y el potasio.
- Una vez iniciado el proceso de bulbificación, los contenidos de P en la planta han de mantenerse constantes y alrededor de un 0,3 % ($\pm 0,03$). La situación de disminución progresiva de contenidos es indicadora de limitaciones en la disponibilidad del nutriente.
- Los análisis de P en bulbo en recolección son buenos indicadores de que ha habido un déficit de suministro de este nutriente a la planta.

- En cebolla se observa un antagonismo P/Zn, de manera que los contenidos de ambos nutrientes siguen una tendencia inversa al incrementar las disponibilidades hídricas.
- En condiciones de producción próximas a las potenciales, el equilibrio N:P:K:Ca:Mg en las exportaciones por el bulbo presenta la relación 8:1:9:2:0,3, siendo las exportaciones de fósforo entre 35 - 38 kg P ha⁻¹ y pudiendo existir en potasio un consumo de lujo.
- En condiciones de producción no limitantes, se puede establecer una relación lineal entre los contenidos de K y N en la biomasa aérea expresados en porcentaje, con un coeficiente de determinación superior a 0,8.
- La acumulación de Cu en los limbos como consecuencia de tratamientos fitosanitarios que contienen este catión, no se traduce en un incremento de los contenidos de Cu en las vainas envolventes tras los tratamientos.
- Con independencia del sistema de riego o localización del ensayo, los contenidos de sodio en bulbo son importantes, superiores incluso a los contenidos de magnesio.
- Bajo riego localizado de alta frecuencia, el transporte de nutrientes en el suelo no limita las extracciones de nutrientes por el cultivo de cebolla.
- Las concentraciones de nutrientes en la solución del suelo que se han obtenido como críticas a lo largo del ciclo de cultivo pueden utilizarse como criterio adicional para establecer nuevos índices de fertilidad en las nuevas técnicas de intensificación de la producción y para el manejo de la fertirrigación.
- La curva de dilución de nitrógeno propuesta por Greenwood et al. (1992) para cebolla, en las condiciones edafoclimáticas de los experimentos planteados, sobrestima el nivel de nitrógeno crítico para biomásas inferiores a 4 Mg ha⁻¹, ya que se pueden obtener elevadas producciones, alrededor de 10 Mg ha⁻¹ de materia seca en bulbo, con contenidos de N en planta inferiores a los niveles críticos propuestos durante esta fase de crecimiento en la que la biomasa no supera el valor citado.