

CAPÍTULO CUARTO

CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN CEBOLLA

CAPÍTULO CUARTO

4. CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN CEBOLLA

4.1. INTRODUCCIÓN

El estudio del crecimiento y de la absorción de nutrientes en cebolla (*Allium cepa* L.) permite establecer las bases de la fertilización, de manera que se puede ajustar el abonado a su ciclo para optimizar la producción, evitar la salinización, la salida de nutrientes fuera del sistema y reducir el impacto de la fertilización en el medio ambiente.

La información relativa a la absorción de nutrientes a lo largo del ciclo de la cebolla se recoge en los trabajos de Zink (1966), utilizando el cultivar Southport White Globe en California, en siembra directa y con una densidad próxima a las 40 plantas m⁻² y de Sher (1996), con el cultivar Pukekohe Early Longkeeper en South Auckland (Nueva Zelanda), con una densidad de 83,7 plantas m⁻². Duque, Perdomo y Jaramillo (1989) cuantifican las extracciones del cultivar Ocañera a lo largo del ciclo pero no a partir de la siembra directa o transplante de plántulas sino de la plantación de bulbos (onion-sets). Rodríguez, Álvarez y González (1994) estudian las extracciones de macronutrientes en el cultivar Grano de Oro entre el momento en que se inicia el engrosamiento de los bulbos y la recolección, en las condiciones de cultivo de los regadíos de Badajoz. En la Universidad de Georgia (EEUU), Caldwell, Summer y Vavrina (1994) han desarrollado normas DRIS (sistema integrado de diagnóstico y recomendación) utilizando el cultivar Granex 33, en base a ensayos de campo realizados durante dos años (1988-1990) sobre Ultisoles de textura arenosa. Existe también múltiple información sobre intervalos de concentraciones óptimas o medias de los diferentes nutrientes, en determinados períodos del crecimiento vegetativo (cuadro 4.1). Es decir, mayoritariamente los esfuerzos de diagnóstico se han orientado hacia la determinación de concentraciones o niveles críticos en determinadas hojas y en estados fenológicos concretos o en relaciones entre nutrientes.

Por otra parte, se conoce en muchos cultivos que las concentraciones, al menos de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio en la planta, disminuyen a medida que se incrementa la biomasa (Greenwood et al., 1980a). No obstante, no existen muchos trabajos que intenten parametrizar esta disminución de las concentraciones con el tiempo y la mayoría se centran en el nitrógeno (Justes et al., 1994; Colnenne et al., 1998). Para el cálculo de las necesidades de nitrógeno durante el ciclo de cultivo o para determinados periodos de crecimiento, Greenwood y Draycott (1989) proponen en esta nueva línea de determinación de concentraciones mínimas necesarias para permitir un óptimo (máximo) crecimiento, una curva de dilución. Esta curva: $N_{crit} (\%) = 1,33 + 4,05 \cdot e^{-0,26PST}$ (Ecuación 4.1) describe la relación existente entre la materia seca o biomasa de la parte aérea (PST) cuando ésta supera 1Mg ha⁻¹ y la

concentración crítica de nitrógeno en la planta (N_{crit}), de manera que si el contenido de N en la planta disminuye por debajo de N_{crit} , se limita el crecimiento.

La curva de dilución se explica en base a dos procesos. Primero, al cambio de la tasa de crecimiento que inicialmente es proporcional a la biomasa por unidad de superficie y posteriormente, cuando las plantas crecen e interceptan prácticamente toda la radiación incidente, se mantiene constante con independencia de la biomasa. Segundo, al cambio, al avanzar el ciclo, en la relación biomasa foliar fotosintéticamente activa respecto a la biomasa de reserva. Una más amplia explicación teórica de esta relación se halla en Lemaire y Gastal (1997).

En cebolla, la concentración de nitrógeno total en limbos (también el N soluble y el N proteico) es superior a la concentración en el pseudotallo y en la vaina envolvente o bulbo (El-Habbasha, 1976), por lo que al modificarse el peso relativo de los limbos respecto al bulbo, se ajustarían los cambios al principio de la curva de dilución.

En patata, Greenwood y Draycott (1995) proponen que al disminuir las concentraciones de fósforo y potasio de forma lineal con el tiempo, al igual como ocurre con el nitrógeno, es posible establecer una relación lineal entre las concentraciones críticas de fósforo y potasio y la concentración crítica de nitrógeno, a lo largo del ciclo de este cultivo.

En cebolla, cabe destacar la diversidad de los valores propuestos para los intervalos óptimos de nutrientes que, conjuntamente con las diferencias en las características edáficas, densidades de siembra o transplante, prácticas de manejo y cultivares, hacen necesaria una revisión de la información disponible acerca de la extracción de nutrientes en diferentes períodos del crecimiento de las plantas para este cultivo y así poder contrastar los resultados.

Los valores de fertilización y exportación final de nutrientes varían también bastante según los autores (cuadro 4.2) dependiendo de las condiciones de cultivo, del cultivar y de la existencia de un pequeño consumo de lujo en donde mayores extracciones no se traducen en un incremento de las producciones.

Las recomendaciones de fertilización también varían (cuadro 4.3) ya que, aunque se hallan justificadas experimentalmente, van asociadas a los niveles de fertilidad del suelo y a la influencia de múltiples factores ambientales. Así, el estrés hídrico por ejemplo, limita las extracciones por parte del cultivo al limitar el transporte del nutriente hacia el sistema radicular (van Keulen y van Heemst, 1982). En condiciones en las que exista plena disponibilidad de agua en el suelo, como sucede en los sistemas de riego de alta frecuencia y que permiten alcanzar producciones próximas a las potenciales, siempre que el crecimiento radicular no se vea limitado, resulta interesante abordar el tema de la fertilización en cebolla desde el punto de vista de concentración de nutrientes en la solución del suelo necesaria para satisfacer las tasas de extracción.

Cuadro 4.1. Contenidos e intervalos óptimos de nutrientes en cebolla.

Nutriente							Parte de la planta ⁽¹⁾	Estadio ⁽²⁾	Localización ⁽³⁾	Intervalo ⁽⁴⁾	Fuente
N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Na(%)	S(%)					
4,16-1,52	0,26-0,40	1,24-4,41	0,86-1,74	0,12-0,42	0,10-0,52	-	P	CC	C	IC	Zink (1966)
-	0,12	-	-	-	0,062	-	HV	BUL	I (pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Grey (1976) ⁽⁵⁾
-	0,21	-	-	-	0,046	-	BU	BUL	I (pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Grey (1976) ⁽⁵⁾
-	0,049	-	-	-	0,038	-	HV	M	I (pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Grey (1976) ⁽⁵⁾
-	0,081	-	-	-	0,026	-	BU	M	I (pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Grey (1976) ⁽⁵⁾
3,04-4,52	0,36-0,48	3,21-4,59	-	-	-	-	3HV	BUL	C	IC	Painter (1980)
<1,9	<0,09	<0,6	<0,3	<0,06	-	-	3HV	BUL	I	D	Pankov (1984)
1,9-2,9	0,09-0,26	0,6-1,9	0,3-0,8	0,06-0,17	-	-	3HV	BUL	I	B	Pankov (1984)
3,0-3,8	0,27-0,40	2,0-3,4	0,9-1,7	0,18-0,38	-	-	3HV	BUL	I	IO	Pankov (1984)
3,9-4,5	0,41-0,80	3,5-4,0	1,8-2,5	0,39-0,6	-	-	3HV	BUL	I	A	Pankov (1984)
>4,5	>0,80	>4,0	>2,5	>0,6	-	-	3HV	BUL	I	E	Pankov(1984)
-	0,29±0,20	0,83±0,81	3,28±0,97	0,62±0,26	-	-	HV	M	I (orgánico)	MO	Mathur <i>et al.</i> (1989)
-	0,38±0,20	0,60±0,18	1,00±0,36	0,15±0,05	-	-	BU	M	I (orgánico)	MO	Mathur <i>et al.</i> (1989)
2,00-3,00	0,25-0,40	2,50-3,50	0,60-1,50	0,25-0,50	-	-	HCM	MC	-	IO	Bergmann (1992)
3,68±0,59	0,37±0,11	3,10±1,12	1,37±0,47	0,24±0,08	-	0,36±0,20	UHM	BUL	C ⁽⁶⁾	IO	O'N Caldwell (1994)
5,00-6,00	0,35-0,50	4,00-5,50	1,00-3,50	0,30-0,50	-	0,50-1,0	HV	MM	C	IO	Mills y Jones (1996)
4,50-5,50	0,31-0,45	3,50-5,00	1,50-2,20	0,25-0,40	-	0,50-1,0	HV	IM	C	IO	Mills y Jones (1996)
4,9-1,5	0,48-0,22	5,9-1,4	1,08-0,74	0,26-0,09	-	0,93-0,29	P	CC	C	MO	Sher (1996)

- (1) BU= bulbo HCM= hojas centrales maduras HV= hojas verdes 3HV= tercera hoja superior verde expandida P= planta entera UHM= última hoja madura
 (2) BUL= bulbificación CC= ciclo completo (1/2 hojas expandidas a recolección) IM= 1/2 crecimiento a inicio madurez M= madurez MC= mitad del periodo de crecimiento
 MM= 1/3 a 1/2 madurez
 (3) C= experimentos en campo I= experimentos en invernadero
 (4) A= alto B= bajo D= deficiente E= excesivo IC= intervalo de valores máximo y mínimo a lo largo del ciclo o periodo vegetativo IO= intervalo óptimo
 MO= media obtenida
 (5) Abonado NPK más 6 ppm de Zn SO₄
 (6) Grossarenic Paleudult

Cuadro 4.1 (continuación). Contenidos e intervalos óptimos de nutrientes en cebolla.

B(ppm)	Nutriente				Parte de la planta ⁽¹⁾	Estadio ⁽²⁾	Localización ⁽³⁾	Intervalo ⁽⁴⁾	Fuente
	Cu(ppm)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)					
-	2,8	36,6	25,0	31,9	HV	BUL	I(pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Greig (1976) ⁽⁵⁾
-	1,9	62,9	8,6	62,9	BU	BUL	I(pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Greig (1976) ⁽⁵⁾
-	2,8	7,6	19,4	25,6	HV	M	I(pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Greig (1976) ⁽⁵⁾
-	1,5	11,5	11,2	27,0	BU	M	I(pH=7,6)	MO	Ajakaiye y Greig (1976) ⁽⁵⁾
14-42	6-10	118-211	23-160	15-36	3HV	BUL	C	IC	Painter (1980)
10	4-6	29-50	16-24	22-32	BU	R	-	-	Aller y Bernal (1986)
-	5,02±1,75	85,0±46,4	44,0±46,1	18,1±11,2	HV	M	I (orgánico)	MO	Mathur <i>et al.</i> (1989)
-	6,9±4,06	37,3±14,3	16,6±9,3	48,5±42,0	BU	M	I (orgánico)	MO	Mathur <i>et al.</i> (1989)
30-50	7-15	-	40-100	20-70	HCM	MC	-	IO	Bergmann (1992)
22-60	15-35	60-300	50-250	25-100	HV	MM	C	IO	Mills y Jones (1996)
25-75	15-35	60-300	50-250	25-100	HV	IM	C	IO	Mills y Jones (1996)
34-7	7-23	3505-82	144-71	58-18	P	CC	C	P	Sher (1996)

(1) BU= bulbo HCM= hojas centrales maduras HV= hojas verdes 3HV= tercera hoja superior verde expandida P= planta entera

(2) BUL= bulbificación CC= ciclo completo (1/2 de la hojas expandidas a recolección) M= madurez MC= mitad del periodo de crecimiento MM= 1/3 a 1/2 madurez

(3) C= experimentos en campo I= experimentos en invernadero

(4) IC= intervalo de valores a lo largo del ciclo o periodo vegetativo IO= intervalo óptimo MO= media obtenida

(5) Abonado NPK más 6 ppm de Zn SO₄

Cuadro 4.2. Fertilización (F.) y exportaciones (E.) de nutrientes en bulbo, con distintas producciones (P.) y materia seca en bulbo (M.S.) , según diversos autores.

Autor	Zink (1966)⁽¹⁾	FAO (1972)	Painter (1980)	Wolnik⁽³⁾ (1985)	Hegde (1988)	Mathur <i>et al.</i> (1989)⁽⁴⁾	Randoin (1993)⁽⁵⁾	Rodríguez <i>et al</i> (1994)	Sher (1996)
Cultivar	Southport White Globe	-	-	-	Pusa Red	Autumn Spice		Grano de Oro	Pukekohe Early Longkeeper
F. N (kg/ha)	255	-	179	-	160	-	-	130	156
F. P ₂ O ₅ (kg/ha)	29	-	90	-	60	-	-	80	565
F. K ₂ O (kg/ha)	0	-	90	-	60	-	-	150	359
P. (Mg peso fresco/ha)	55,4	-	57,4	-	50,1	-	-	64,6	-
M.S. (%)	16,3	-	4,5	-	11,2	-	-	10,5	-
P. (kg materia seca/ha)	9037	-	2584	-	5607	-	-	5794	14540
E. ⁽²⁾ de N (kg/Mg bulbo)	2,7 (16,4)	-	1,0 (22,8)	-	1,7 (15,5)	-	-	1,6 (15,5)	- (15,0)
E. ⁽²⁾⁽⁶⁾ de P (kg P ₂ O ₅ /Mg bulbo)	1,0 (6,3) [2,7]	0,4	0,4 (9,7) [4,2]	0,6	0,9 (8,4) [3,7]	- (8,7) [3,8]	0,4	0,7 (6,7) [3,0]	- (4,8) [2,1]
E. ⁽²⁾⁽⁶⁾ de K (kg K ₂ O/Mg bulbo)	2,4 (14,6) [12,1]	1,7	1,1 (23,8) [19,7]	3,4	1,4 (15,0) [12,4]	- (14,4) [11,9]	1,8	2,5 (24,0) [19,2]	- (16,8) [13,9]
E. ⁽²⁾⁽⁶⁾ de Ca (kg CaO/Mg bulbo)	1,7 (10,3) [7,4]	0,3	0,2 (4,2) [3,0]	0,4	1,0 (9,1) [6,5]	- (14,0) [10,0]	0,3	-	- (17,3) [12,4]
E. ⁽²⁾⁽⁶⁾ de Mg (kg MgO/Mg bulbo)	0,2 (1,5) [0,9]	-	0,1 (2,2) [1,3]	0,2	0,4 (3,5) [2,1]	- (2,5) [1,5]	0,2	-	- (1,5) [0,9]
E. ⁽²⁾ de Na (g/Mg bulbo)	65 (399)	90	36 (800)	23	-	- -	70	-	- -
E. ⁽²⁾ de Cu (g/Mg bulbo)	-	1,3	0,2 (4,0)	0,4	-	- (6,9)	1,0	-	- (7,0)
E. ⁽²⁾ de Fe (g/Mg bulbo)	-	10,0	2,7 (61,0)	1,4	-	- (37,3)	5,0	-	- (82,0)
E. ⁽²⁾ de Mn (g/Mg bulbo)	-	10,0	3,6 (81,0)	1,2	-	- (16,6)	2,5	-	- (71,0)
E. ⁽²⁾ de Zn (g/Mg bulbo)	-	1,0	1,5 (33,0)	1,7	-	- (48,5)	0,8	-	- (19,0)

(1) Experimento 1961. Campo nº 1.

(2) Las exportaciones son sobre peso fresco de bulbo, entre paréntesis figuran las exportaciones sobre peso seco de bulbo.

(3) Valores medios sobre peso fresco de 230 muestras procedentes de zonas no contaminadas por la actividad humana.

(4) Experimento realizado en un suelo orgánico, en macetas.

(5) Las exportaciones se han obtenido a partir de tablas de composición de los alimentos, no de ensayos concretos de campo.

(6) Las exportaciones entre corchetes se refieren a peso seco de bulbo y corresponden a kg P Mg⁻¹, kg K Mg⁻¹, kg Ca Mg⁻¹ y kg Mg Mg⁻¹ según el nutriente considerado.

Cuadro 4.3. Recomendaciones de fertilización, cantidad de nutriente a aplicar y momento de aplicación según diversos autores.

Autor	Recomendación	Observaciones
Greenwood (1980 b,c)	206 kg N ha ⁻¹ , 231 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ , 143 kg K ₂ O ha ⁻¹	Niveles óptimos
Macua (1988)	160 kg N ha ⁻¹ , 60 kg N ha ⁻¹ en el fondo y el resto en dos coberteras antes del engorde de los bulbos 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ en fondo 120 kg K ₂ O ha ⁻¹ en fondo	Producción 100 Mg ha ⁻¹
Greenwood <i>et al.</i> (1992)	291 kg N ha ⁻¹ 150 kg N ha ⁻¹	Producción potencial. Cantidad mínima para producciones cercanas a las potenciales
MAFF (1994)	Cebollas en suelos minerales y según el índice relacionado con los análisis de suelo: 30-90 kg N ha ⁻¹ en siembra de primavera 40-100 kg N ha ⁻¹ en siembra de otoño 0-300 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 0-275 kg K ₂ O ha ⁻¹	Recomendaciones basadas en los análisis de suelos. En los niveles bajos de fertilidad se incluye el aumentar las reservas del suelo. Se corrigen en base al tipo de cultivo que les precede en la rotación
Maroto (1995)	50-100 kg N ha ⁻¹ puede incrementarse hasta 160-230 kg N ha ⁻¹ fraccionando en cobertera un 65% 70-150 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ aplicado en fondo 120-200 kg K ₂ O ha ⁻¹ puede incrementarse hasta 250-320 kg K ₂ O ha ⁻¹ en función de la fertilización nitrogenada, fraccionando un 50% en cobertera	Abonado medio
Moreau, Le Bohec y Guerber-Cahuzac (1996)	200 kg N ha ⁻¹ aplicados a lo largo del ciclo en base a un balance de nitrógeno 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ aplicado en fondo 160 kg K ₂ O ha ⁻¹ aplicado en fondo 80 kg Mg O ha ⁻¹ aplicado en fondo	Producción 80 Mg ha ⁻¹ Suelo fértil

4.2. OBJETIVOS

- Evaluar la demanda de nutrientes en cebolla (*Allium cepa* L.) bajo distintas condiciones de manejo.
- En condiciones de riego infrecuente, evaluar una práctica de manejo, usual entre los agricultores, correspondiente al fraccionamiento del abonado nitrogenado.
- En condiciones de riego de alta frecuencia, poder calcular cuáles habrían de ser las concentraciones mínimas de macronutrientes y nutrientes secundarios en la solución del suelo para mantener las tasas de extracción por parte del cultivo de cebolla mediante difusión.
- Determinar características del cultivo que puedan utilizarse para evaluar la demanda de algunos nutrientes durante el período de crecimiento vegetativo.

4.3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó material vegetal de ensayos descritos en otros capítulos y de nuevos ensayos. Todos ellos se agrupan en cuatro experimentos. En este capítulo se describe únicamente de forma detallada el planteamiento de uno de ellos (experimento 4.3); el resto de los experimentos se hallan descritos con detalle en los capítulos que se referencian.

4.3.1. Extracción de nutrientes en condiciones de riego infrecuente para distintos cultivares. (Experimento 4.1)

El contenido y la extracción de nutrientes en forma fraccionada en cebolla, se realizó a partir del material vegetal del experimento 2.2.2 y del experimento 2.2.3 (capítulo segundo), planteados en 1989, en condiciones de riego por escorrentía y por turnos, con una densidad de 80 plantas m². Se analizaron para cada muestreo de campo realizado en el experimento 2.2.2 tres muestras compuestas correspondientes a cada uno de los cultivares Albeno, Albion y BAV-E58 y en el experimento 2.2.3 una muestra compuesta del cultivar Valenciana de Grano (V. de Grano) en siembra de enero. La muestra compuesta correspondía a la unión del material vegetal de las tres parcelas (una en cada uno de los bloques) asignadas a cada cultivar. Los resultados de los dos experimentos se presentan conjuntamente al haberse planteado en la misma finca, bajo las mismas condiciones de manejo y no haberse observado diferencias en los potenciales matriciales de agua en el suelo (cuadro 2.24).

En Albeno, Albion y BAV-E58 los muestreos de 14 y 28 de mayo, 10 y 24 de junio, 8 y 23 de julio, 6 y 21 de agosto, corresponden a 111, 125, 138, 152, 166, 181, 195 y 210 días respectivamente tras la fecha de siembra (23 de enero).

En V. de Grano, los muestreos de 29 de abril, 14 y 28 de mayo, 21 de junio, 7 y 26 de julio y 23 de agosto, corresponden a 96, 111, 125, 149, 165, 184 y 212 días respectivamente, tras la fecha de siembra (23 de enero). En los muestreos de 29 de abril y 14 de mayo de este cultivar se analizaron conjuntamente el limbo y la vaina envolvente.

4.3.2. Contenido de nitrógeno en el sistema radicular para distintos cultivares. (Experimento 4.2)

La evolución del contenido y extracción de nitrógeno por las raíces de los cultivares Valenciana de Grano (V. de Grano), Staro y Southport White Globe (S.W.G) se obtuvo en base al material vegetal radicular del experimento 3.1 (capítulo tercero), planteado en 1991, en sustrato fuera suelo.

Los muestreos de 9, 17 y 30 de junio, 7, 14, 22 y 30 de julio, 9, 19 y 28 de agosto y 8 de setiembre, corresponden a 59, 67, 80, 87, 94, 102, 110, 120, 130, 139, 150 días respectivamente tras la siembra (11 de abril).

4.3.3. Balace de nitrógeno en Valenciana de Grano en condiciones de riego infrecuente. (Experimento 4.3)

Las extracciones de nitrógeno en el cultivar Valenciana de Grano y la disponibilidad de nitrógeno en forma nítrica en el suelo, se evalúan en un nuevo experimento planteado en 1990, bajo riego por escorrentía y por turnos.

Las coordenadas geográficas de la finca situada en el pueblo de Sidamon son 41° 37' N, 0° 49' E y altitud 207 m.

El suelo de las parcelas experimentales era un Xerorthent típico, limosa gruesa, mezclada (calcárea), mésica (SSS, 1975, 1990) perteneciente a la serie Comes (Herrero *et al.*, 1993). La profundidad enraizable era de 60 cm debido a la presencia de una capa de areniscas.

Las propiedades edáficas de la finca se resumen en el cuadro 4.4. El pH es moderadamente básico, los niveles de conductividad eléctrica se incrementan en profundidad debido a que el material originario son areniscas y lutitas, la salinidad procede de las lutitas. El contenido de materia orgánica es bajo, los niveles de fósforo son altos y medios los de potasio (López, 1985) en relación al cultivo de cebolla.

Cuadro 4.4. Propiedades edáficas⁽¹⁾ de las parcelas experimentales. Sidamon. 1990.

Profundidad (cm)	pH (1:2,5)	C.E. (1:5,25°C, dS/m)	M.O (%)	N (%)	P (ppm. Olsen)	K (ppm. Acetato amónico)	CaCO₃ (%)	Agua retenida (kg/100 kg) -33 - 1500 kPa	Textura (USDA)
00-20	8,2 (0)	0,36 (0,02)	1,3 (0,1)	0,08 (0,01)	24 (7)	150 (23)	13	16,5 6,1	F
20-40	8,2 (0)	0,39 (0,03)	1,0 (0,1)	0,07 (0,01)	10 (2)	106 (9)	-	16,9 6,7	F
40-60	8,2 (0)	0,47 (0,06)	0,6 (0,1)	0,07 (0,01)	7 (3)	88 (2)	-	16,4 6,1	F

(1) Excepto para el agua retenida en donde se utilizó una muestra compuesta, los valores corresponden a la media de los tres bloques del experimento. Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones típicas.

El sistema de riego era por escorrentía y por turnos, el agua provenía de los Canales d'Urgell (Lleida). La calidad del agua de riego proveniente de estos canales es muy alta (SARNT, 1984, 1985, 1986).

El cultivo previo al establecimiento del ensayo había sido alfalfa. El suelo se trabajó con un subsolador, se ruló y posteriormente se realizó un pase de cultivador.

Se utilizó semilla de cebolla de la variedad Valenciana de Grano. La siembra se realizó con una sembradora de líneas de precisión, a una profundidad de 3-4 cm, el 3 de febrero de 1990. Tras la emergencia se realizó un aclareo de manera que la densidad final fuese de 60 plantas m⁻².

Previamente a la siembra, el 29 de enero, se aplicaron 690 kg ha⁻¹ de un abono ternario NPK, el 15-15-15, con un 9% de nitrógeno en forma amoniacal y un 6% en forma nítrica, de manera que se aplicaron 103,5 kg N ha⁻¹.

Para el estudio del efecto del fraccionamiento del abonado nitrogenado en la evolución del contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo y en el contenido de nitrógeno en la planta, se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones.

Los tratamientos consistieron en el fraccionamiento del abonado nitrogenado en cobertera. El abonado en cobertera equivalía a 120 kg N ha⁻¹. En el primer tratamiento (cobertera 1) se fraccionó en cuatro aportaciones de 30 kg N ha⁻¹

aplicando la primera fracción el 4 de junio (121 días desde la siembra) y las tres siguientes a intervalos posteriores de diez días, es decir, el 14 y 25 de junio y el 5 de julio. En el segundo tratamiento (cobertera 2) se realizaron dos fraccionamientos de 60 kg N ha⁻¹ y las aplicaciones fueron el 4 y el 25 de junio. El tercer tratamiento (cobertera 3) consistió en la aplicación de 120 kg N ha⁻¹ el 4 de junio. Como abono de cobertera se utilizó el nitrato potásico (13.0.46). La cantidad de N total aplicada fue de 223,5 kg N ha⁻¹, cantidad que según los diversos autores (cuadro 4.3) permitiría alcanzar producciones máximas o muy cercanas a las máximas.

La separación entre bloques era de 50 cm. Cada parcela elemental ocupaba una superficie de 30 m², la longitud era de 10 m y la anchura de 3 m. El número de hileras por parcela era de dieciocho aunque por la mitad, estaban divididas por una área sin cultivo, correspondiente a la anchura de la rueda del tractor para facilitar los tratamientos fitosanitarios. La separación entre parcelas de un mismo bloque era de 1 m.

El contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo se cuantificó por primera vez el 28 de marzo, a los 53 días desde la siembra, una vez establecidas las plantas. Se muestrearon cuatro puntos distribuidos en la superficie ocupada por el experimento y en tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Para evaluar la evolución del contenido de nitratos en el suelo, se realizó un muestreo a los 80 días desde la siembra en cada parcela experimental y, posteriormente, se muestreó a los dos días después de un riego o lluvia importante y, finalmente, tras la recolección.

Se muestreaban cuatro puntos al azar en cada parcela y a cuatro profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm mediante una barrena de ocho centímetros de diámetro. En total se realizaron 9 muestreos (cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Muestreos de nitratos realizados a lo largo del ciclo de la cebolla. Año 1990.

Fecha de muestreo	24.04	11.05	28.05	16.06	25.06	05.07	19.07	04.08	10.08
Días desde la siembra	80	97	114	133	142	152	166	182	188

En los muestreos se determinó el contenido de humedad y la lectura del contenido de nitratos del extracto obtenido se realizó mediante espectrofotometría a 220 nm (Cawse, 1967; MAPA, 1986b). El seguimiento del desarrollo del cultivo se realizó mediante conteo del número de hojas por planta. Los conteos iniciales se realizaron en cuatro hileras (filas 5, 6, 13 y 18) de cada parcela y en los 5 metros centrales de cada hilera, hasta el estadio de cuatro hojas (8.05.90). A partir de este estadio se marcaron 24 plantas en cada parcela para el seguimiento del número de hojas. El control de la madurez se siguió de nuevo en las plantas donde también se habían realizado los conteos iniciales. A lo largo del ciclo de cultivo se realizaron muestreos destructivos del material vegetal (cuadro 4.6).

A lo largo del ciclo (cuadro 4.6), se muestrearon 16 plantas de las 4 filas centrales de cada parcela, excepto en el muestreo de 27 de abril en que debido al tamaño reducido de las plantas, se muestrearon veinticuatro. En recolección

(09.08) se muestrearon ocho plantas. Para evaluar el rendimiento se recolectaron el 9 de agosto todas las plantas situadas en la mitad de las cuatro hileras centrales de cada parcela, en una longitud de 5 m cada una de ellas. En el material vegetal muestreado a lo largo del ciclo, se determinó el número de hojas verdes, la altura de la planta, la altura del bulbo más el pseudotallo, el peso fresco total y fraccionado y la relación de bulbificación. Las plantas se secaron a 70°C y en el material seco se determinó el N total (método Kjeldahl), analizando separadamente el bulbo y los filodios. El N total se determinó en una muestra compuesta de los tres bloques para cada tratamiento.

Cuadro 4.6. Muestreos de material vegetal realizados a lo largo del ciclo de la cebolla. Año 1990.

Fecha de muestreo	27.04	11.05	14.06	29.06	12.07	26.07	09.08
Días desde la siembra	83	98	132	147	160	174	188

En relación a las técnicas de cultivo, se regó el 9 de mayo, 14 y 23 de junio, 3 y 17 de julio y 1 de agosto. Se realizaron diversos tratamientos fitosanitarios (cuadro 4.7). El principal problema fue el ataque de Trips tabaci.

Cuadro 4.7. Tratamientos fitosanitarios realizados en las parcelas experimentales.

Plaga o enfermedad a combatir	Fecha de tratamiento	Materia activa	Producto comercial	Dosis
Delia antiqua (Mosca)	01.02.90	Fonofos 5%	Dyfonate	15 kg/ha
Trips tabaci (Trips)	18.04.90	Metil Paratión 35%	Aration 35	0,8 L/ha
Botrytis allii (Botrytis) y Peronospora destructor (Mildiu)		Cimoxanilo 4% + Zineb 40%	Milzan	2,5 kg/ha
		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 L/ha
Trips tabaci (Trips)	04.05.90	Clorpirifos 48%	Pyrinex 48	2,5 L/ha
		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 L/ha
Trips tabaci (Trips)	19.05.90	Clorpirifos 40%	Pyrinex 48	2,5 L/ha
		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 L/ha
Trips tabaci, (Trips)	31.05.90	Clorpirifos 40%	Pyrinex 48	2,5 L/ha
Peronospora destructor(Mildiu) y Botrytis allii (Botrytis)		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 L/ha
		Cimoxanilo 4% + Zineb 40%	Milzan	2,5 kg/ha
		Vinclozolin 50%	Ronilan	1,1 L/ha
Trips tabaci (Trips)	20.06.90	Clorpirifos 40%	Pyrinex 48	2,5 L/ha
		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 Lha
Botrytis allii (Botrytis)	25.06.90	Vinclozolin 50%	Ronilan	1,1 L/ha
Trips tabaci (Trips)	17.07.90	Clorpirifos 40%	Pyrinex 48	2,5 L/ha
		Dimetoato 40%	Perfekthion	1,0 L/ha

Si los tratamientos planificados para una fecha resultaban ser incompatibles se realizaban tratamientos separados. Se respetó la programación del propietario de la finca donde se ubicó el experimento.

El control de las malas hierbas se realizó mediante escarda manual para no afectar el crecimiento del cultivo. Únicamente se realizó un tratamiento herbicida el 21 de mayo con pendimetalina 33% (producto comercial Stomp) a una dosis de 5 L ha⁻¹.

4.3.4. Extracción de nutrientes en condiciones de riego de alta frecuencia.(Experimento 4.4)

La cuantificación de la extracción de nutrientes bajo riego de alta frecuencia se realizó utilizando los cultivares Valenciana de Grano, Staro y Southport White Globe del experimento 4.4.1 y repitiéndose nuevamente en el experimento 4.4.2 para Valenciana de Grano.

4.3.4.1. Cuantificación de la extracción de nutrientes en distintos cultivares, Valenciana de Grano, Staro y Southport White Globe. (Experimento 4.4.1).

En la cuantificación de la extracción de nutrientes de forma fraccionada en riego de alta frecuencia por goteo se empleó el material vegetal de los cultivares Valenciana de Grano, Staro y Southport White Globe del experimento 2 (capítulo segundo) planteado en 1992, con una densidad de 80 plantas m⁻². Recordar que el abonado fue de 334 kg N/ha, 143 kg P₂O₅/ha y 486 kg K₂O/ha.

Los muestreos de 27 de mayo, 10 y 24 de junio, 9 y 21 de julio, 6 y 12 de agosto, corresponden a 84, 98, 112, 127, 139, 155 y 161 días respectivamente tras la siembra (4 de marzo).

En el cultivar Valenciana de Grano el 50% de emergencia se produjo el 2 de abril, por lo que los muestreos se corresponden con 51, 65, 79, 94, 106, 122 y 137 días tras la emergencia.

En el cultivar Southport White Globe, el 50% de emergencia se produjo el 31 de marzo, así los muestreos se corresponden con 49, 63, 77, 92, 104, 120 y 135 días tras la emergencia.

En el cultivar Staro, el 50% de emergencia se produjo el 30 de marzo, correspondiéndose los muestreos con 48, 62, 76, 91, 103, 119 y 134 días tras la emergencia.

En base a los resultados de partición de biomasa radicular en relación a la biomasa aérea del experimento 3.1 (cuadros 3.3 y 3.4) y de los contenidos de nitrógeno del sistema radicular (experimento 4.2) se calcula, bajo el supuesto de que se mantiene el fraccionamiento de biomasa y el contenido de nitrógeno en ausencia de estrés hídrico, las extracciones de nitrógeno por el sistema radicular para el cultivar V. de Grano, Staro y Southport White Globe.

En estas condiciones no limitantes de disponibilidad de agua de riego y de crecimiento radicular para los tres cultivares de cebolla se calcula, a lo largo del ciclo, las concentraciones de macronutrientes necesarias en la solución del suelo para mantener el flujo de nutrientes, a través del sistema radicular, mediante difusión. Se asume uno de los supuestos establecidos por Greenwood y Draycott (1989) en su modelo de respuesta a la fertilización nitrogenada para distintos cultivos, de manera que la difusión es suficiente para extraer prácticamente todo el NO₃⁻-N necesario. Como datos base

se utilizan las extracciones de macronutrientes obtenidos, correspondientes a la parte aérea de la planta y las ecuaciones de crecimiento radicular del experimento 3.2. Se adoptó que las extracciones se realizaban por las raíces situadas en los primeros 20 cm hasta el inicio de la bulbificación (muestreo 24 junio) y, posteriormente, hasta 40 cm.

Se calculó la tasa de extracción de nutrientes por unidad de longitud radicular dividiendo las extracciones entre muestreos por la longitud radicular media en el periodo considerado. La diferencia entre la concentración media de ion nitrato, ion ortofosfato y de ion potasio en la profundidad explorada por las raíces, para mantener mediante difusión la tasa de extracción calculada por unidad de longitud radicular, se obtuvo utilizando la expresión propuesta por Baldwin, Nye y Tinker (1973): $C_1 - C_{lr} = (I / (2\pi D_1 * \theta_v f_1)) * \ln (1 / ((\pi L_v)^{0.5} * 1,65r))$ (Ecuación 4.2), donde:

C_1 : concentración media de la solución del suelo en el volumen explorado por las raíces (mol cm^{-3});

C_{lr} : concentración de la solución del suelo en la superficie radicular (mol cm^{-3}); I: flujo ($\text{mol cm}^{-1} \text{raiz s}^{-1}$);

D_1 : coeficiente de difusión en el agua ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$) (Lide,1996); $D_{K^+ (25^\circ\text{C})} = 1,957 \cdot 10^{-5} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$;

$D_{\text{NO}_3^- (25^\circ\text{C})} = 1,902 \cdot 10^{-5} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ $D_{\text{H}_2\text{PO}_4^- (25^\circ\text{C})} = 0,879 \cdot 10^{-5} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$; θ_v : fracción volumétrica del agua en el suelo;

f_1 : factor de impedancia; L_v : densidad de longitud radicular (cm cm^{-3}); r: radio de la raíz.

Se adoptó $\theta_v = 0.32$, $f_1 = 0,27$ y $r = 0,03$ cm.

Los cálculos de las extracciones de nitrógeno se basaron en la forma de nitrógeno nítrica ya que en cebolla, a pesar de que no existen déficits de N cualquiera que sea la forma (NH_4^+ o NO_3^-) de nitrógeno disponible (Abbès *et al.*, 1995), se observa que la forma nítrica es la forma de nitrógeno en el suelo dominante en las extracciones de la planta, incluso cuando la forma NH_4^+ sea la mayoritariamente disponible (Abbès, Robert y Parent, 1996).

4.3.4.2. Nueva cuantificación de la extracción de nutrientes en Valenciana de Grano. (Experimento 4.4.2).

La evaluación de la extracción de nutrientes en riego de alta frecuencia para el cultivar Valenciana de Grano en riego de alta frecuencia, por goteo, se repitió en 1994 en base al material vegetal del experimento 6.3 (capítulo sexto), para una densidad de 60 plantas m^{-2} y abonado nitrogenado de 240 kg N ha^{-1} . Se aportaron 127 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ y 304 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$.

Los muestreos de 7 y 14 de mayo, 4, 8, 16 y 22 de junio, 1, 15 y 27 de julio, corresponden a 63, 70, 91, 95, 103, 109, 118, 132 y 144 días tras la siembra (5 de marzo) respectivamente y, a 43, 50, 71, 75, 83, 89, 98, 112 y 124 días tras el 50 % de emergencia (25 de mayo) respectivamente.

Para evaluar la relación propuesta por Greenwood *et al.* (1992) y Greenwood y Draycott (1989) entre contenidos de nitrógeno y biomasa a lo largo del ciclo de la cebolla y para una mayor diversidad de condiciones de cultivo, se introducen los datos del experimento 6.1 (capítulo sexto) realizado en 1992 y que incluyen las densidades de 20, 40, 80 y 160 plantas m^{-2} y dos niveles de radiación incidente sobre el cultivo.

La determinación de la composición mineral en todos los experimentos se realizó en base a los métodos oficiales de análisis publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA,1986b) incluyendo las modificaciones:

- en el proceso de preparación de la muestra, el material vegetal se lavó con agua desionizada, en tres bandejas sucesivas en vez de lavarlo con una solución al 1% de detergente no iónico.
- en el proceso de mineralización no se incineró ni se atacó con ácido fluorhídrico el filtro de papel, sino que se lavó sucesivas veces. Tras el lavado, el filtro se despreció.
- en el análisis del nitrógeno (método Kjeldahl) la muestra se pesaba en un papel de arroz. En el blanco también se incluyó el papel de arroz. El ácido sulfúrico utilizado era de concentración 0,100 N. El método de análisis de N-orgánico únicamente incluye el $N-NO_3^-$ hasta un 0,2%. En cebolla, y exceptuando los estados iniciales (aproximadamente en los primeros dos meses), los contenidos de $N-NO_3^-$ en relación al N-orgánico son bajos (Greenwood *et al.*, 1992).

En algunos experimentos no siempre se pudieron analizar todas las muestras de material vegetal de forma fraccionada y especialmente para algunos micronutrientes.

En los experimentos 4.3 y 4.4 se evalúa la cantidad de N aplicado como fertilizante y que es extraído por la planta (N_F) en relación a la que hubiese extraído en ausencia de fertilización (N_o). Para ello se utiliza la ecuación de recuperación aparente (REC) propuesta por Greenwood *et al.* (1992):

$$REC = (N_F - N_o)/N_F = 0,50 - 0,00086 N_F \quad (\text{Ecuación 4.3})$$