

CAPÍTULO TERCERO

CRECIMIENTO Y DESARROLLO RADICULAR DE

DIFERENTES CULTIVARES DE CEBOLLA

CAPÍTULO TERCERO

3. CRECIMIENTO Y DESARROLLO RADICULAR DE DIFERENTES CULTIVARES DE CEBOLLA

3.1. INTRODUCCIÓN

La mejora de las técnicas de riego y fertilización en cebolla no puede realizarse si no va acompañada de un estudio del crecimiento y distribución radicular en las condiciones del medio donde se cultiva, al ser las raíces las que absorben el agua y los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. En la medida en que se facilite el incremento de la longitud radicular o su extensión por unidad de volumen de suelo, es lógico pensar que la capacidad de absorción radicular se incrementará, reduciendo, a su vez, el riesgo de estrés hídrico o de carencia de nutrientes (Gardner, 1991).

La absorción de agua no viene determinada únicamente por el valor absoluto de la longitud radicular en el suelo, sino cómo se distribuyen las raíces, es decir, la fracción que esa longitud radicular a distintas profundidades representa respecto a la longitud total, por lo que la profundidad de enraizamiento y la distribución radicular condicionan el potencial de utilización del agua en el suelo.

El crecimiento radicular, a su vez, está ligado al suministro de compuestos de carbono elaborados por las partes aéreas de la planta, existiendo, por tanto, una relación entre el crecimiento radicular y el crecimiento de la parte aérea. El estudio de la masa radicular y aérea son la base de la redistribución de los carbohidratos en los modelos de crecimiento. El estudio de los sistemas radiculares es laborioso y las técnicas más avanzadas (Meyer y Barrs, 1991) requieren costosas instalaciones. Estas circunstancias, en cebolla, han limitado la información disponible en relación al crecimiento y desarrollo radicular.

Una primera descripción del crecimiento radicular de la cebolla fue publicada por Weaver y Brunner (1927). Estos autores observaron que las raíces estaban distribuidas en una profundidad no superior a 80 cm, con un crecimiento lateral aproximado de 30 cm. DeMason (1990) establece que las raíces en cebolla se producen continuamente en diferentes anillos y en intervalos regulares en el tallo de la cebolla. La ramificación es escasa e incluso algunos autores (Weaver y Brunner, 1927; Melchior y Steudle, 1993) consideran que es insignificante en raíces viejas.

Existen otros experimentos que describen el crecimiento en longitud del sistema radicular (Greenwood *et al.*, 1982; Moore *et al.*, 1987) o su desarrollo inicial (Birdsall y MacLeod, 1990) y cuyos resultados no pueden directamente extrapolarse a otras situaciones debido a la variabilidad genética de los sistemas radiculares y a la influencia de las técnicas de cultivo.

Respecto a los estudios que relacionan la biomasa aérea y radicular, cabe destacar el trabajo de Butt (1968) con la salvedad de que en la relación de biomásas, la biomasa aérea se centra en los limbos, despreciando el bulbo. No obstante, sus resultados y, mediante estimaciones, son los que se utilizan en uno de los más actuales modelos de crecimiento en cebolla ante la escasez de datos (DeVisser, 1994).

En general, existe un déficit de información sobre diferencias entre cultivares respecto a la morfología y desarrollo radicales. El poder detectar diferencias en el crecimiento radicular y en la distribución radicular entre cultivares ofrece además un valioso criterio para su mejora genética en ámbitos diversos, como la tolerancia al estrés hídrico o adaptación a distintas condiciones de manejo, particularmente en condiciones de riego localizado y fertirrigación, permitiendo un uso más eficiente de agua y nutrientes a la vez que se repercute en el medio ambiente, contribuyendo a evitar su degradación.

3.2. OBJETIVOS

- Parametrizar el crecimiento radicular de tres cultivares de cebolla; Staro, Southport White Globe y Valenciana Grano.
- Caracterizar la distribución del sistema radicular de los cultivares en condiciones de campo.
- Caracterizar el desarrollo radicular de los cultivares citados.

3.3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos, uno en cultivo fuera suelo (experimento 3.1) y otro en condiciones de campo bajo riego de alta frecuencia (experimento 3.2) durante 1991 y 1992 respectivamente, en la comarca del Pla d'Urgell. Las coordenadas geográficas del área donde se instaló el ensayo son 41° 38' N, 0° 53' E y la altitud es de 250 m.

Se utilizaron en ambos experimentos tres cultivares de cebolla, Valenciana de Grano (V. de Grano), Staro y Southport White Globe (S.W.G.).

3.3.1. Cultivo fuera suelo. (Experimento 3.1).

El experimento se planteó en el exterior, al aire libre, pero en un sustrato fuera suelo. Las diferentes variedades se dispusieron en un diseño totalmente aleatorizado, considerando cada planta como una repetición, de forma que en cada muestreo se dispusiese de seis plantas para cada una de las variedades.

Se emplearon tubos de PVC de 30 cm de profundidad y de 12 cm de diámetro. Cada tubo se rellenó con vermiculita de tamaño 2 - 4 mm, pH = 7 y densidad aparente entre 100 - 120 kg m⁻³. En la parte superior se esparció perlita para reducir la evaporación. La parte inferior de los tubos estaba cerrada con una malla. Los tubos, en grupos de cuatro, se situaron en tiestos de altura 35 cm y diámetro superior de 34 cm. El fondo de los tiestos se elevó 10 cm mediante arena, sobre la arena y recubriendo a la vez los laterales del tiesto, se dispuso un plástico impermeable.

El 11 de abril se sembraron en cada tubo cuatro semillas de la variedad asignada, a una profundidad de 2 - 2,5 cm. La siembra se realizó en abril para evitar posibles daños por bajas temperaturas. Finalizada la emergencia se efectuó un aclareo, de forma que en cada tubo hubiese sólo una planta.

El riego y el abonado se realizaron, utilizando la solución modificada de Hoagland (Hunter, 1979), unas tres veces por semana. Una vez a la semana se efectuaba la renovación total de la solución nutritiva.

No se efectuó ningún tipo de tratamiento herbicida a lo largo del ciclo de cultivo.

Se realizaron muestreos para medir el número de raíces adventicias y la longitud del sistema radicular conjuntamente con la biomasa de la parte aérea y el número de hojas totales el 18 y 26 de mayo; 1, 9 y 17 de junio. Se realizaron otros muestreos para estudiar el reparto de la biomasa radicular y aérea el 9, 25 y 30 de junio; 7, 14, 22 y 30 de julio; 9, 19 y 28 de agosto. En el muestreo de 9 de junio se realizaron medidas de longitud radicular y de biomasa radicular.

Las raíces muestreadas se transfirieron a bolsas de plástico y se almacenaron a 4°C. En el procesado de las raíces éstas se limpiaban con agua, se contaba el número de raíces adventicias y el número de raíces laterales cuando presentaban ramificaciones. Directamente con una regla se medía en cada planta la longitud del sistema radicular sumando la

longitud de las raíces adventicias y de sus ramificaciones (fotografía 3.1). También, dentro de las limitaciones impuestas por el método utilizado, se medía el diámetro de las raíces con una regla.



Fotografía 3.1. Sistema radicular de los tres cultivares de cebolla, V. de Grano, S.W.G. y Staro. Plantas pertenecientes al muestreo de 18 de mayo.

En los muestreos de biomasa radicular las raíces se secaban a 70°C.

En la parte aérea se determinó el peso seco total y fraccionado (limbo y vaina envolvente) así como el diámetro máximo del bulbo y el diámetro mínimo del pseudotallo. Se controló el número exacto de hojas totales visibles.

El tratamiento estadístico se realizó mediante análisis de varianza y regresiones lineales. La relación entre la longitud radicular y el peso seco de la planta se obtuvo conjuntamente con los datos del experimento 3.2.

3.3.2. Cultivo en condiciones de campo, bajo riego de alta frecuencia. (Experimento 3.2).

Las parcelas experimentales se situaron en una gran finca (> 20 ha), dedicada a la producción de cebolla, dentro del término municipal de El Palau d'Anglesola (Lleida). El suelo de las parcelas experimentales era un Xerofluvent ácuico, limosa fina, mezclada (calcárea), mélica (Soil Survey Staff, 1990) perteneciente a la serie Reguer (Herrero *et al.*, 1993).

La profundidad enraizable era superior a 125 cm. Las propiedades edáficas se resumen en el cuadro 3.1. El pH es moderadamente básico por tratarse de un suelo calcáreo, los niveles de conductividad eléctrica van asociados a los contenidos de yeso, no siendo limitantes. El contenido de materia orgánica es normal, los niveles de fósforo son medios y medio - bajos los de potasio (López, 1985) en relación al cultivo de la cebolla. Debido a la clase textural la cantidad de agua retenida es alta, aunque puede dificultar el trabajo del suelo.

Cuadro 3.1. Propiedades edáficas de las parcelas experimentales situadas en El Palau d' Anglesola.

Profundidad (cm)	pH (1: 2,5)	C.E. (1: 5, 25°C, dS/m)	M.O. (%)	N (%)	P (ppm. Olsen)	K (ppm. Acetato Amónico)	CaCO ₃ (%)	Densidad aparente (kg/m ³)	Agua retenida (kg/100 kg)		Textura (USDA)
									-33 kPa	-1500 kPa	
00-23	7,9	0,47	2,5	0,17	39	144	24	1690	28,15	16,23	F Ac L
23-35	8,2	0,38	1,4	0,10	37	192	24	1650	26,00	17,61	F Ac L
35-100	8,2	0,36	0,7	0,05	28	352	24	1750	21,83	13,28	F Ac
100-125	8,3	0,30	1,0	0,06	41	248	35	-	30,27	18,74	Ac L

El cultivo previo al establecimiento del ensayo había sido trigo. El suelo se labró en otoño. Previamente a la siembra se volvió a cultivar el suelo.

El riego era de cobertura total, por goteo. Se empezó a regar a los pocos días tras la siembra, aplicándose 202 mm para alcanzar un contenido de agua en el suelo en los primeros 40 cm próximo a capacidad de campo. Se midió a lo largo del ciclo del cultivo el potencial mátrico del suelo mediante tensiómetros situados a diferentes profundidades (0 a 60 cm) y distancias (5 a 25 cm) de los emisores, manteniéndose en valores superiores a -18 kPa en todas las combinaciones profundidad - distancia.

La cantidad de agua aplicada mediante riego en la estación de cultivo fue de 646 mm. La cantidad de fertilizante aplicado mediante riego supuso un aporte de 266 kg N/ha, 625 kg P₂O₅/ha y 556 kg K₂O/ha. El control de las malas hierbas se realizó manualmente. Los tratamientos fitosanitarios realizados se recogen en el cuadro 6.1.

El diseño experimental fue en bloques al azar con dos repeticiones. La longitud de cada parcela elemental era de 6 m. La distancia entre hileras era de 15 cm. En cada parcela había nueve hileras. En las dos hileras más exteriores no se realizó ningún muestreo.

Se sembró sobre suelo seco el 4 de marzo. La emergencia de las plántulas se controló tres veces por semana en la tercera y séptima hilera en longitudes equivalentes a una emergencia esperada de 100 plantas. Tras la emergencia se procedió a un aclareo manual de las plantas para alcanzar una densidad exacta de 80 plantas m⁻².

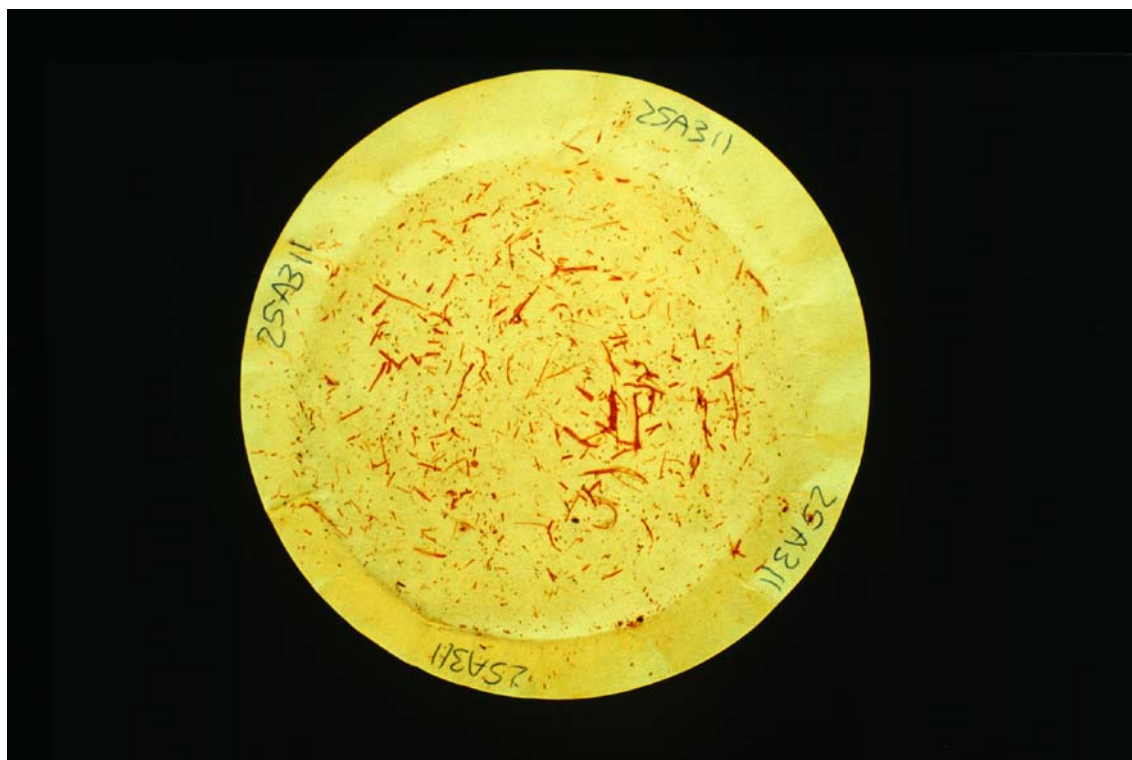
Se realizaron muestreos destructivos de las plantas (parte aérea y radicular) el 20 de junio, 3 de julio, 21 de julio y 5 de agosto.

El suelo se muestreó mediante una barrera de 8 cm de diámetro que era la distancia entre plantas en las hileras. Las muestras de suelo se tomaron únicamente bajo el tallo de las plantas a profundidades de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm, el 20 de junio y el 3 de julio. Se muestrearon cuatro plantas en cada cultivar (dos en cada repetición). En los dos

últimos muestreos (21 de julio y 5 de agosto) se tomó una muestra adicional de 60 a 80 cm, además se muestreó en dos puntos entre hileras (en el centro de las líneas de siembra) a las profundidades de 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60 y 60 - 80 cm. Estos puntos interhileras estaban, cada uno de ellos, situados entre dos plantas (cada planta en hileras contiguas) que también se muestrearon. La longitud radicular de cada punto interhilera se asoció al peso seco medio de las dos plantas adyacentes al punto de muestreo. Así pues, en los dos últimos muestreos, se obtuvieron seis plantas por cultivar (tres en cada repetición).

Las muestras de suelo se transfirieron a bolsas de plástico y se almacenaron a temperatura de 4°C hasta que se pudo extraer las raíces. La extracción de las raíces se realizó mediante una solución de hexametáfosfato sódico y un lavado posterior, separando las raíces por flotación. Las raíces se tiñeron con rojo Congo. La densidad de longitud radicular (L_v , $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$) en el área muestreada, se estimó para cada profundidad de muestreo.

En la fotografía 3.2 se observa una de las distribuciones de las raíces en el papel de filtro una vez preparadas para realizar el recuento de intersecciones mediante el método de intersección lineal de Newman (1966).



Fotografía 3.2. Distribución de las raíces en el papel de filtro, una vez teñidas y antes de realizar el conteo de intersecciones.

El cálculo de la longitud radicular por planta se basó en dos premisas: a) la densidad de longitud radicular, en las fechas de muestreo en campo, se mantenía constante en toda el área correspondiente a la planta considerando la densidad de 80 plantas m^{-2} , b) la longitud radicular a profundidades superiores a 60 cm podía omitirse. Estas premisas se basan en el trabajo de Weaver y Bruner (1927) sobre el modelo de crecimiento radicular de las cebollas, (en una planta bien

desarrollada, las raíces se dispersan horizontalmente y posteriormente crecen en profundidad, situándose la mayor densidad radicular en los primeros 30 - 60 cm), y también en base a la reducida distancia entre plantas y entre hileras, así como en el buen crecimiento de las plantas. El peso seco de las plantas se determinó como en el experimento 3.1. La bulbificación se caracterizó en base a la relación de bulbificación (RB).

La madurez (80% de pseudocuellos flácidos) se determinó mediante tactos de 50 plantas tres veces por semana. Se recolectaron setenta y cinco plantas por parcela dos semanas después de la fecha de madurez. En las plantas muestreadas se cortaron los restos de limbo y se midieron el diámetro del bulbo, su peso fresco y seco.

Se realizaron análisis de varianza y separación de medias así como regresiones lineales para caracterizar el crecimiento radicular y establecer diferencias entre cultivares. La relación entre el peso seco de la parte aérea y la longitud radicular se estableció en base a los datos del experimento 3.1 y 3.2, asumiendo que la relación no se modificaba durante los experimentos.

3.4. RESULTADOS

Los resultados correspondientes a los dos experimentos se presentan agrupados en cuatro temas correspondientes al crecimiento de la parte aérea, bulbificación y producciones, desarrollo radicular, longitud radicular y distribución radicular en campo.

3.4.1. Crecimiento de la planta, bulbificación y producciones.

Los resultados del crecimiento de las plantas se presentan de forma separada para los dos experimentos.

3.4.1.1. Cultivo fuera suelo. (Experimento 3.1).

Las fechas de muestreo para la medida de la longitud radicular y número de raíces adventicias corresponden a 28, 36, 42, 50 y 58 días tras la emergencia. En la primera fecha de muestreo (18 de mayo) el número medio de hojas para todos los cultivares fue de dos, no existiendo diferencias significativas entre ellos, tampoco existían diferencias en cuanto a número de raíces adventicias (cuadro 3.2).

En el último muestreo de longitud radicular, no se había iniciado la bulbificación tal como se observa en el cuadro 3.2, no existiendo diferencias entre cultivares.

Cuadro 3.2. Desarrollo aéreo y radicular , relación de bulbificación y peso seco del bulbo en el experimento 3.1 (1991) .

	Fecha de muestreo		Cultivar		
			V. de Grano	Staro	S.W.G.
Número medio de raíces adventicias/ Número medio de hojas totales visibles (número/planta)	18.05.91	-	7,5 / 2,0	6,2 / 2,0	6,5 / 2,0
	26.05.91	-	11,0 / 3,0	8,2 / 3,2	10,8 / 3,0
	01.06.91	-	18,0 / 3,8	15,0 / 4,0	11,7 / 4,0
	09.06.91	-	34,2 / 5,3	26,8 / 5,0	25,6 / 5,2
Relación de bulbificación (cm cm⁻¹)	09.06.91	ns	1,4	1,5	1,5
	17.06.91	ns	1,6	1,7	1,5
	07.07.91 ⁽¹⁾	ns	2,3	2,2	2,1
Peso seco del bulbo (g planta⁻¹)	28.08.91	ns	55,10	44,48	35,16

ns = no significativo.

(1) En esta fecha no se tomó muestra de longitud radicular.

Las fechas de muestreo para la medida del reparto de biomasa se corresponden con 50, 66, 71, 78, 85, 93, 101, 111, 121 y 130 días tras la emergencia. En el cuadro 3.3 se presentan los resultados de reparto de biomasa.

Antes del inicio de la bulbificación (cuadro 3.2), Valenciana de Grano presenta una mayor biomasa radicular en relación a la biomasa aérea o total que el cultivar Staro (cuadro 3.3), diferencias que desaparecen en muestreos posteriores.

Cuadro 3.3. Reparto de biomasa de los cultivares de cebolla ⁽¹⁾ . Cultivo fuera suelo.

Fecha de muestreo ⁽²⁾	Cultivar	Biomasa radicular en relación a biomasa aérea (limbo y vainas)		Biomasa radicular en relación a la biomasa total	
		(%)		(%)	
09.06.91 (50)	Staro	15,84	B	13,61	B
	S.W.G.	20,32	A B	16,81	A B
	V. de Grano	26,34	A	20,69	A
25.06.91 (66)	Staro	13,17		11,54	
	S.W.G.	15,25		13,13	
	V. de Grano	14,22		12,38	
30.06.91 (71)	Staro	10,51		9,46	
	S.W.G.	16,43		14,04	
	V. de Grano	14,51		12,57	
07.07.91 (78)	Staro	7,75		7,17	
	S.W.G.	5,80		5,47	
	V. de Grano	7,85		7,25	
14.07.91 (85)	Staro	6,57		6,16	
	S.W.G.	5,72		5,41	
	V. de Grano	7,24		6,73	
22.07.91 (93)	Staro	7,42		6,88	
	S.W.G.	4,39		4,20	
	V. de Grano	5,87		5,51	
30.07.91 (101)	Staro	2,17		2,12	
	S.W.G.	3,63		3,50	
	V. de Grano	2,85		2,76	
09.08.91 (111)	Staro	3,14		3,02	
	S.W.G.	3,24		3,13	
	V. de Grano	3,12		3,02	
19.08.91 (121)	Staro	2,65		2,58	
	S.W.G.	3,52		3,38	
	V. de Grano	2,27		2,21	
28.08.91 (130)	Staro	2,27		2,21	
	S.W.G.	2,06		2,02	
	V. de Grano	1,87		1,83	

(1) Valores medios con distinta letra son estadísticamente diferentes según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0,05$).

(2) Los números entre paréntesis corresponden al número de días desde el 50% de la emergencia.

El cociente (fr) biomasa radicular respecto a la biomasa aérea se ha relacionado con los valores del fraccionamiento de la biomasa aérea (fba), es decir, del peso seco del bulbo o vaina envolvente respecto a peso seco de los limbos. En la figura 3.1 se representan los valores de estos cocientes.

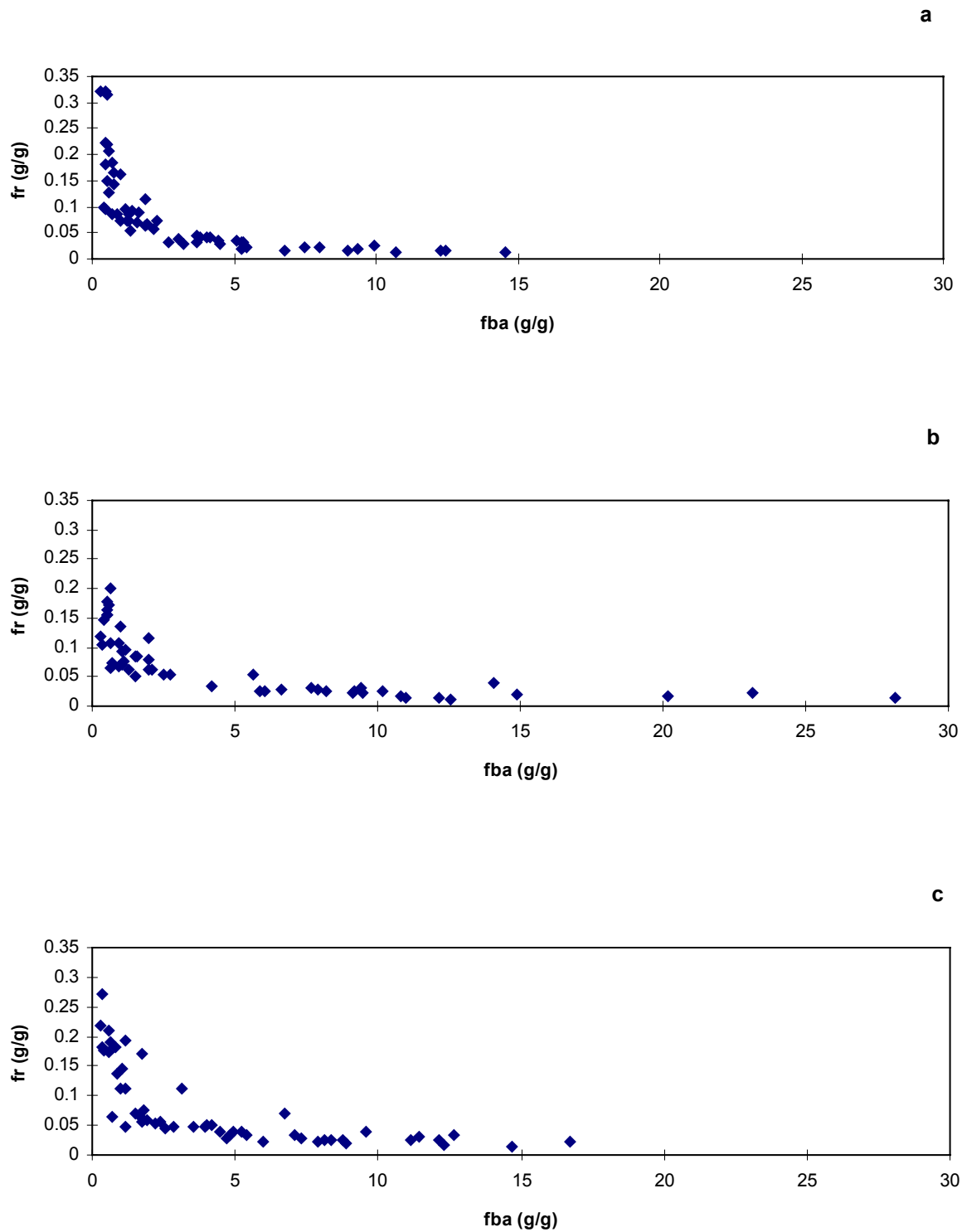


Figura 3.1. Fraccionamiento (fr) de la biomasa radicular respecto a la biomasa aérea, en función del fraccionamiento de la biomasa aérea (fba; fba = peso seco bulbo/peso seco del limbo) en tres cultivares: a) Valenciana de Grano , b) Staro , c) Southport White Globe.

La relación entre fr y fba es lineal en términos de logaritmos de estas variables (cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Relación entre fr (g peso seco raíz/g peso seco de la parte aérea) y el fba (g peso seco bulbo/g peso seco del limbo) para los diferentes cultivares. Valores del coeficiente de determinación (R^2), de los parámetros y errores estándar (e.s.) correspondientes a la ecuación $\ln fr = a + b \ln fba$.

Cultivar	R^2 (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
V. de Grano	0,90 (54)	-2,26 (0,05)	-0,79 (0,04)
Staro	0,85 (50)	-2,40 (0,05)	-0,57 (0,03)
Southport White Globe	0,82 (51)	-2,19 (0,06)	-0,65 (0,04)

Los valores de la pendiente son distintos para todos los cultivares ($P < 0,01$) aunque para V. de Grano y S.W.G. su origen no es significativamente distinto, aunque si es significativamente distinto de Staro ($P < 0,01$).

En el muestreo de 9 de junio (50 días tras la emergencia) en que se pudo calcular la longitud radicular específica (LRE) no se observaron diferencias significativas entre cultivares, aunque para un nivel $P < 0,08$ V. de Grano presenta una mayor LRE respecto a Staro y S.W.G.

Los valores medios de LRE y las desviaciones típicas se presentan en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Valores medios de longitud radicular específica (LRE) en cultivares de cebolla. Muestreo 09.06.91.

Cultivar	Número de plantas medidas	LRE cm mg^{-1}	Desviación típica
Staro	5	4,44	1,23
S.W.G.	5	4,36	0,71
V. de Grano	6	5,71	1,06

Respecto al diámetro de las raíces, el valor del mismo en las raíces adventicias era 0,5 mm y el diámetro de las ramificaciones 0,1 mm.

3.4.1.2. Cultivo en condiciones de campo, bajo riego de alta frecuencia. (Experimento 3.2).-

Las fechas de muestreo corresponden a 79, 92, 110 y 125 días tras el 50% de emergencia para el cultivar V. de Grano; 82, 95, 113 y 128 días tras el 50% de emergencia para el cultivar Staro y 81, 94, 112 y 127 días tras el 50% de emergencia para el cultivar S.W.G.

El inicio de la bulbificación para los cultivares Staro y S.W.G. se produjo entre el primer (20 junio) y segundo (3 julio) muestreo. El inicio de la bulbificación para V. de Grano se produjo el 3 de julio. La madurez, en todos los cultivares, ya se había alcanzado en el cuarto muestreo del 5 de agosto (cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Relación de bulbificación, madurez y parámetros en recolección ⁽¹⁾ en el experimento 3.2 (1992).

	Fecha de muestreo		Cultivar		
			V. de Grano	Staro	S.W.G.
Relación de bulbificación (cm cm⁻¹)	20.06.92	ns	1,5	1,4	1,4
	03.07.92	*	1,9 b	2,5 a	2,3 ab
	16.07.92	ns	3,2	3,1	3,1
Fecha de madurez (80% pseudocuellos flácidos) ⁽²⁾			03.08.92 (123)	28.07.92 (120)	29.07.92 (120)
Peso fresco del bulbo a recolección (g m⁻²)		**	12.840 a	8.048 b	8.040 b
Materia seca en bulbo (%)		**	8,6 b	16,2 a	17,4 a
Producción en materia seca (Mg ha⁻¹)		*	11,04 b	13,04 a	13,9 a
Diámetro del bulbo en recolección (cm)		**	7,0 a	5,7 b	5,7 b

ns= no significativo * = significativo a nivel 5 % ** = significativo a nivel 1 %

(1) Los valores medios con distinta letra son estadísticamente significativos según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0,05$).

(2) Los números entre paréntesis corresponden al número de días desde el 50% de emergencia .

Las producciones (cuadro 3.6) en peso fresco de bulbo fueron superiores en V. de Grano, aunque el contenido en materia seca fue inferior. El diámetro del bulbo en todos los cultivares se correspondía con las exigencias del mercado (MAPA, 1988b).

3.4.2. Desarrollo radicular.

Los valores del número de raíces adventicias (NR) en relación al número de hojas visibles (NH), considerando como visibles las hojas secas más las verdes y para los diferentes cultivares, se representan para el experimento 3.1 en la figura 3.2. Los resultados se limitan a dos meses tras la emergencia y antes de la bulbificación.

Los datos del último muestreo (17 junio) estando próximo el inicio de la bulbificación ejercen una gran influencia en la relación NR-NH. Las modificaciones que producen en los valores de la pendiente, dificultan incluir estos datos en una primera relación, ya que si se incluyen su influencia provoca desviaciones importantes en los valores estimados de número de raíces adventicias antes de la aparición de la sexta hoja. Si se omite el último muestreo citado, a los 58 días tras la emergencia (17 de junio), en donde existe una gran variabilidad en las variables medidas, los datos presentan una relación lineal en términos de logaritmos de las variables consideradas (cuadro 3.7), no existiendo diferencias significativas en los valores del intercepto (a) y de la pendiente (b). Los valores de a y b son altamente significativos

($P < 0,001$). El ajuste a una ecuación de segundo grado o cuadrática también es aceptable (cuadro 3.7), siendo el valor del intercepto altamente significativo ($P < 0,001$) y el de b significativo ($P < 0,05$).

Cuadro 3.7. Relaciones entre el número de raíces adventicias por planta (NR) y el número total de hojas visibles producidas (NH) para los diferentes cultivares. Experimento 3.1.

Cultivar	Ecuación	R ² (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
V. de Grano	$\ln NR = a + b \ln NH$	0,83 (21)	0,85 (0,19)	1,53 (0,15)
V. de Grano	$NR = a + b (NH)^2$	0,82 (21)	4,02 (1,74)	0,96 (0,10)
Staro	$\ln NR = a + b \ln NH$	0,85 (19)	0,78 (0,17)	1,45 (0,14)
Staro	$NR = a + b (NH)^2$	0,85 (19)	2,93 (1,37)	0,82 (0,08)
S.W.G.	$\ln NR = a + b \ln NH$	0,79 (21)	0,87 (0,18)	1,29 (0,15)
S.W.G.	$NR = a + b (NH)^2$	0,82 (21)	3,25 (1,25)	0,69 (0,07)

En el experimento 3.1, en los muestreos de 18 y 26 de mayo y de 1 y 9 de junio no existieron diferencias significativas en la fracción de raíces adventicias con ramificaciones respecto al número total de raíces adventicias, ni en el número total de ramificaciones por planta o sistema radicular (cuadro 3.8).

Cuadro 3.8. Valores medios y desviación típica del número de raíces adventicias con ramificaciones (NRR) respecto al total de raíces adventicias (NR) y del número total de ramificaciones (RLT) por sistema radicular.

Fecha de muestreo	Cultivar	NRR/NR ⁽¹⁾	RLT ⁽¹⁾
18.05.91	V. de Grano	0,34 (0,22)	14,3 (5,8)
	Staro	0,25 (0,14)	11,2 (5,3)
	S.W.G.	0,28 (0,09)	13,2 (6,3)
26.05.91	V. de Grano	0,29 (0,14)	12,0 (4,9)
	Staro	0,28 (0,11)	14,2 (10,0)
	S.W.G.	0,35 (0,11)	20,0 (11,0)
01.06.91	V. de Grano	0,19 (0,07)	10,6 (8,0)
	Staro	0,18 (0,04)	14,2 (5,8)
	S.W.G.	0,15 (0,08)	8,0 (4,9)
09.06.91	V. de Grano	0,07 (0,03)	13,3 (5,4)
	Staro	0,09 (0,04)	18,5 (9,1)
	S.W.G.	0,07 (0,08)	22,8 (28,7)

(1) Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones típicas.

En las raíces adventicias únicamente se observaron raíces laterales primarias.

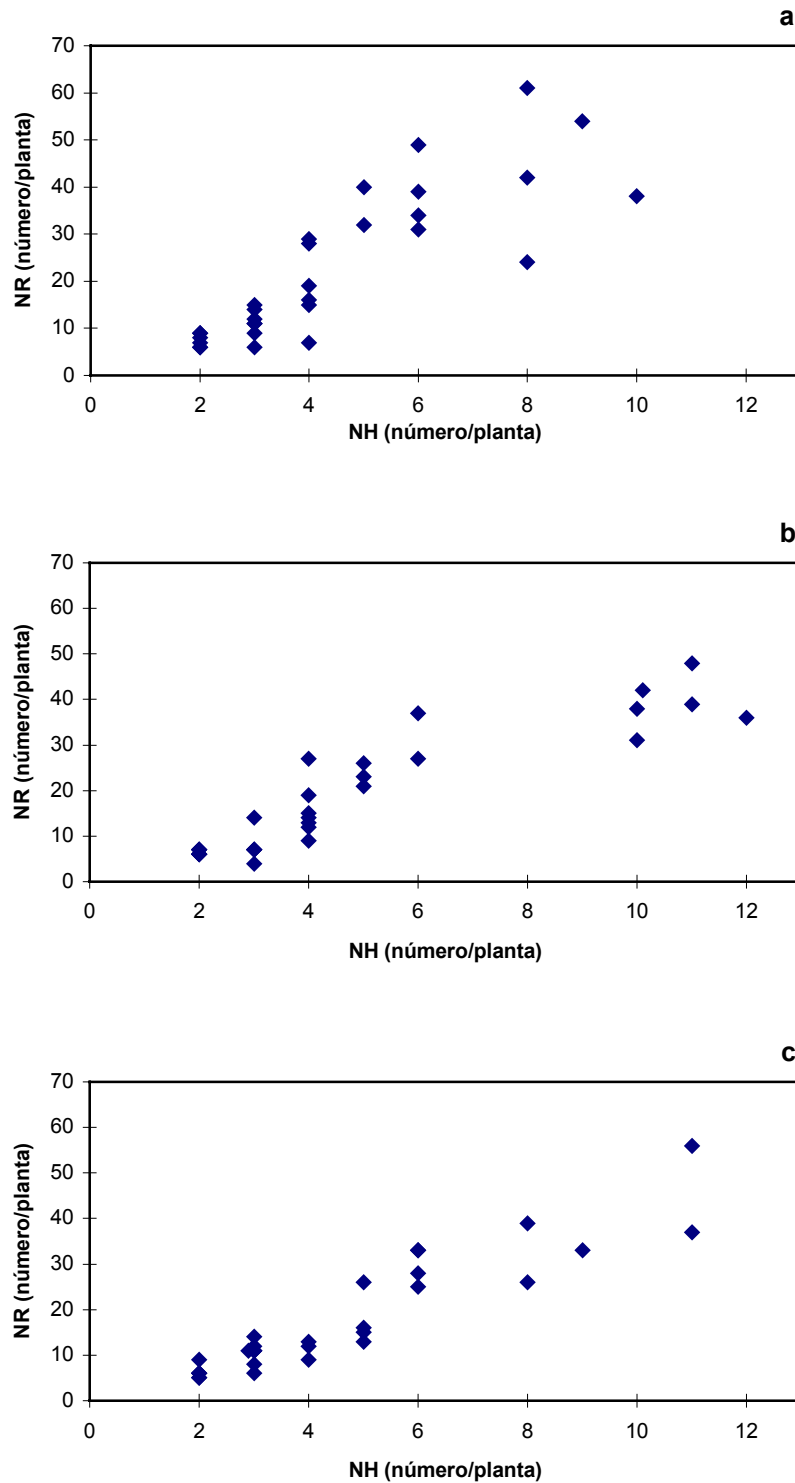


Figura 3.2. Relación entre el número de raíces adventicias (NR, número/planta) y el número total de hojas visibles (NH, número/planta) en tres cultivares: a) Valenciana de Grano, b) Staro y c) Southport White Globe. Experimento 3.1. Valores correspondientes a 28, 36, 42, 50 y 58 días tras el 50% de emergencia.

3.4.3. Longitud radicular.

En el experimento 3.2 y en los dos últimos muestreos (21 de julio y 5 de agosto), no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en relación al peso seco de la parte aérea entre las plantas en que el muestreo radicular se realizó directamente bajo el tallo y las plantas en que el muestreo radicular se realizó entre líneas. Tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas en las medidas de longitud radicular. Estos resultados avalan la hipótesis de distribución radicular uniforme y la semejanza en el crecimiento de las plantas muestreadas.

En la figura 3.3 se representan los valores de la longitud radicular (m/planta), en relación al peso seco de la parte aérea (g/planta) para los diferentes cultivares estudiados y experimentos (3.1 y 3.2). La longitud radicular en el experimento 3.2 corresponde a la obtenida entre 0 - 60 cm. La relación anterior en base a los logaritmos neperianos de las variables puede considerarse lineal, ya que la inclusión del término de segundo grado ($c(\ln(\text{PSP}))^2$) no mejora en mucho dicha relación (cuadro 3.9), puesto que el error standard para los valores estimados de c es alto, excepto para el cultivar V. de Grano en el experimento 3.2.

Cuadro 3.9. Relaciones entre ln LR (cm/planta) y el ln PSP (g/planta) para los diferentes cultivares y experimentos (Exp.): Experimento 3.1, antes de la bulbificación; experimento 3.2, en el período de bulbificación.

Cultivar	Ecuación	R ² (g.l. residuales)		
		Exp. 3.1	Exp. 3.2	Exp. (3.1+3.2)
V. de Grano	$\ln LR = a + b \ln PSP$	0,89 (26)	0,82 (14)	0,96 (42)
V. de Grano	$\ln LR = a + b \ln PSP + c (\ln(\text{PSP}))^2$	0,90 (25)	0,92 (13)	0,97 (41)
Staro	$\ln LR = a + b \ln PSP$	0,91 (26)	0,89 (17)	0,95 (45)
Staro	$\ln LR = a + b \ln PSP + c (\ln(\text{PSP}))^2$	0,91 (25)	0,90 (16)	0,98 (44)
S.W.G.	$\ln LR = a + b \ln PSP$	0,87 (27)	0,65 (15)	0,95 (44)
S.W.G.	$\ln LR = a + b \ln PSP + c (\ln(\text{PSP}))^2$	0,90 (26)	0,69 (14)	0,97 (43)

Los valores de los parámetros obtenidos en la regresión lineal de los dos experimentos (3.1 y 3.2) se muestran en el cuadro 3.10. Si se comparan las regresiones lineales obtenidas para cada cultivar, la pendiente (b) no es significativamente distinta entre cultivares. Además, el valor del intercepto (a) en Staro y S.W.G. no es estadísticamente diferente, pero sí lo es en relación a V. de Grano ($P < 0,001$).

Cuadro 3.10. Valores de los parámetros y errores estándar correspondientes a la relación $\ln LR = a + b \ln PSP$ para el experimento 3.1 y 3.2 de forma global y para los distintos cultivares. (LR, cm/planta y PSP, g/planta).

Cultivar	a (e.s.)	b (e.s.)
Valenciana de Grano	7,57 (0,08)	0,89 (0,03)
Staro	7,14 (0,08)	0,86 (0,03)
Southport White Globe	7,22 (0,08)	0,89 (0,03)

En Staro y S.W.G. el valor común de la pendiente (b) es 0,87 y del intercepto 7,18.

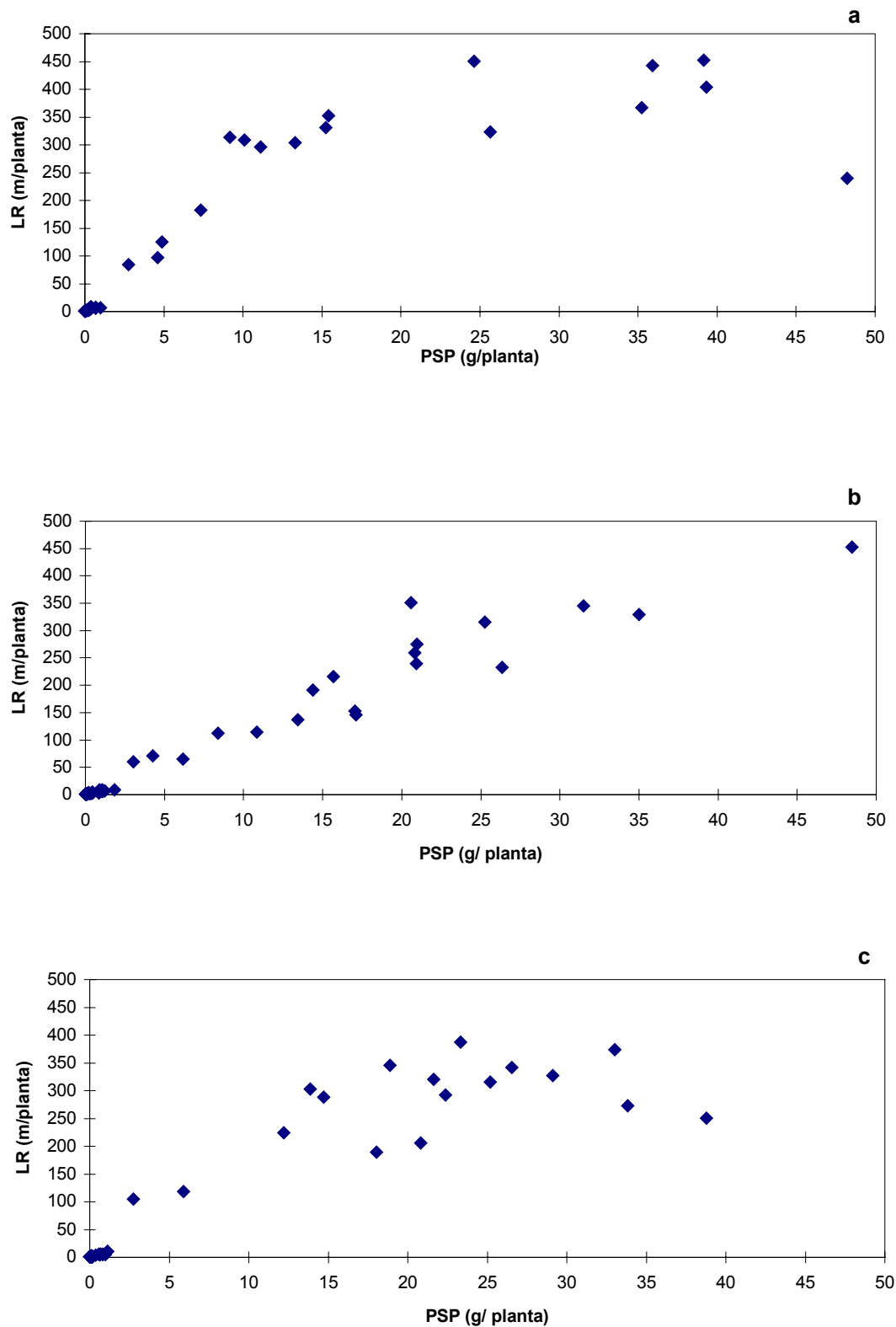


Figura 3.3. Relación entre la longitud radicular total (LR, m/planta) y el peso seco de la parte aérea (PSP, g/planta) en tres cultivares: a) Valenciana de Grano, b) Staro y c) Southport White Globe. Los datos pertenecen al experimento 3.1 y experimento 3.2.

En el experimento 3.1 y para los muestreos comprendidos entre 28 y 50 días tras la emergencia no se observaron diferencias en la fracción de longitud radicular de las raíces laterales o ramificaciones respecto a la longitud total del sistema radicular de cada planta (cuadro 3.11).

Cuadro 3.11. Valores medios y desviación típica (entre paréntesis) de la fracción de longitud radicular de las raíces laterales (LRRL) respecto a la longitud total del sistema radicular de cada planta (LR).

Fecha de muestreo	18.05.91	26.05.91	01.06.91	09.06.91
Cultivar	LRRL/LR			
V. de Grano	0,12 (0,10)	0,17 (0,12)	0,19 (0,05)	0,09 (0,03)
Staro	0,19 (0,17)	0,25 (0,10)	0,26 (0,03)	0,10 (0,06)
S.W.G.	0,32 (0,12)	0,28 (0,12)	0,16 (0,07)	0,10 (0,12)

Se observa una gran desviación en los resultados, en un mismo muestreo había plantas sin ramificaciones y otras muy ramificadas aunque con ramificaciones que no superaban los 5 mm.

3.4.4. Distribución radicular en campo.

La evolución de la densidad de longitud radicular (L_v) en campo (experimento 3.2) se presenta en la figura 3.4. El valor medio de L_v en los primeros 20 cm se duplica (Staro y S.W.G.) o triplica (V. de Grano) en menos de quince días previos a la bulbificación.

La máxima densidad de longitud radicular se alcanza próxima la madurez (80% de los pseudocuellos flácidos). La densidad de longitud radicular tiende a permanecer casi constante en los muestreos realizados antes y después del inicio de la madurez.

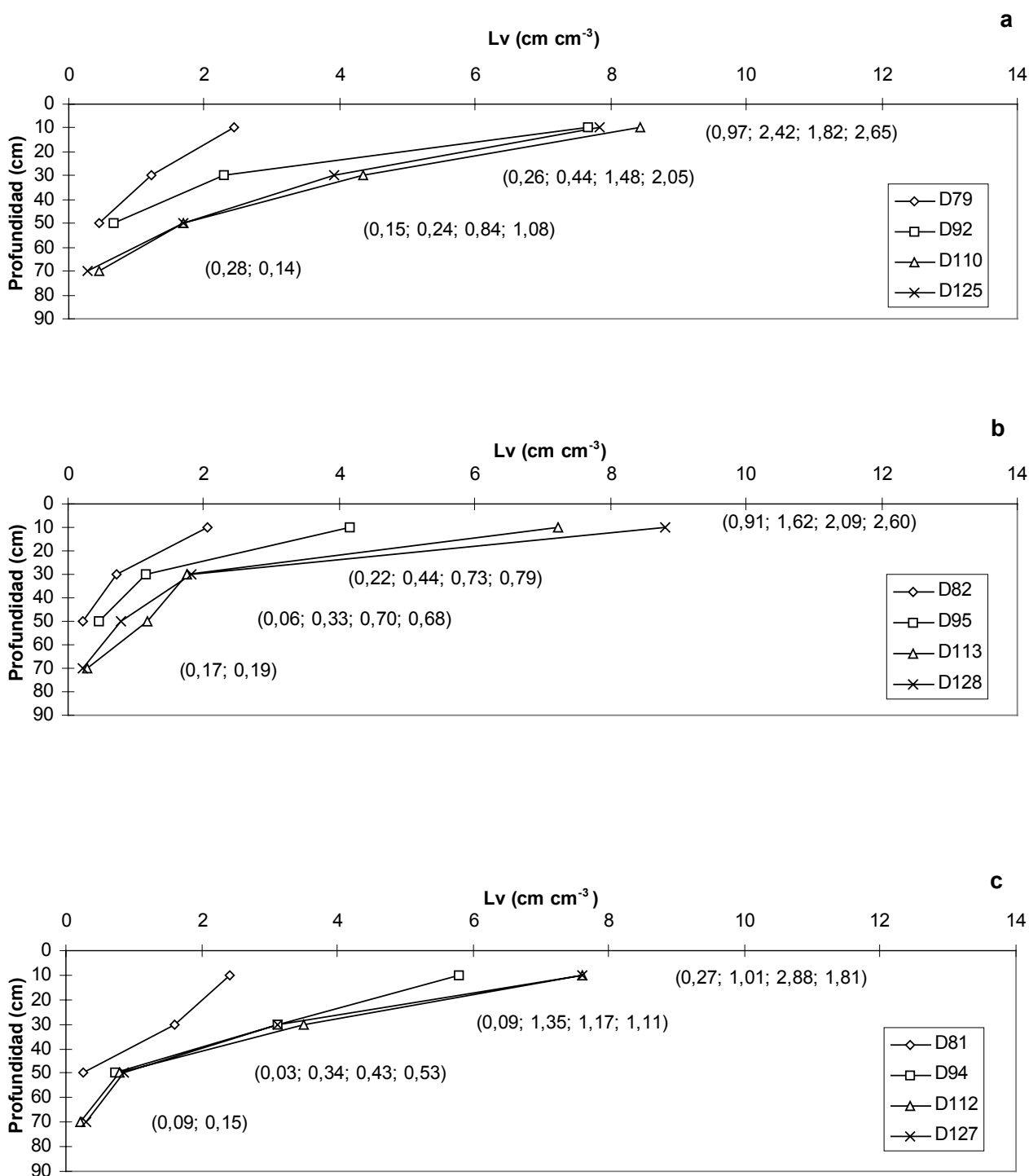


Figura 3.4. Valores medios de densidad de longitud radicular (L_v , cm cm^{-3}) para diferentes profundidades y días (D) desde el 50% de la emergencia, en condiciones de campo, para tres cultivares: a) Valenciana de Grano, b) Staro y c) Southport White Globe. Los números entre paréntesis corresponden a las desviaciones típicas de L_v para cada profundidad y muestreo, ordenados desde la primera fecha de muestreo a la última.

El porcentaje de longitud radicular de cada cultivar para las diferentes profundidades y fechas de muestreo se presentan en el cuadro 3.12.

Cuadro 3.12. Porcentaje de longitud radicular para tres cultivares en distintas profundidades ⁽¹⁾ y fechas de muestreo.

Fecha de muestreo ⁽³⁾	Profundidad (cm)	Porcentaje de longitud radicular de cada cultivar para las diferentes profundidades ⁽²⁾		
		V. de Grano	Staro	S.W.G.
20.06.92 (81)	00-20	58 (0,856)	67 (0,960)	56 (0,846)
	20-40	34 (0,623)	25 (0,520)	34 (0,616)
	40-60	8 (0,293)	8 (0,282)	10 (0,324)
03.07.92 (94)	00-20	71 (1,004)	72 (1,010)	62 (0,899)
	20-40	22 (0,490)	20 (0,468)	31 (0,593)
	40-60	7 (0,257)	8 (0,276)	7 (0,275)
21.07.92 (112)	00-20	58 (0,858)	69 (0,976)	62 (0,907)
	20-40	30 (0,574)	20 (0,454)	30 (0,571)
	40-60	9 (0,306)	9 (0,292)	6 (0,257)
	60-80	3 (0,80)	2 (0,146)	2 (0,34)
05.08.92 (127)	00-20	61 (0,888)	77 (1,076)	66 (0,946)
	20-40	26 (0,534)	15 (0,397)	25 (0,515)
	40-60	11 (0,342)	6 (0,237)	7 (0,270)
	60-80	2 (0,136)	2 (0,126)	2 (0,141)

(1) En el primer y segundo muestreo no se obtuvieron datos para la profundidad de 60-80 cm.

(2) Los números entre paréntesis corresponden a los datos transformados en ángulos.

(3) Los números entre paréntesis corresponden a días desde el 50% de la emergencia.

En el período de bulbificación hasta la madurez, el suelo es altamente explorado por el sistema radicular de la cebolla aunque menos de un 3 % de la longitud radicular puede hallarse a profundidades superiores a 60 cm, tal como se asumió previamente. El 54 - 77 % de la longitud radicular se halla en los primeros 20 cm del suelo. Entre 0 - 40 cm de profundidad, y en función del cultivar, se halla el 85 - 90% de la longitud radicular. No se encontraron diferencias entre cultivares respecto a la distribución radicular en las diferentes profundidades muestreadas.

3.5. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados obtenidos se presenta estructurada en los mismos temas en que se han expuesto los resultados.

3.5.1. Reparto de biomasa y producciones

En condiciones fuera suelo (experimento 3.1), la biomasa radicular en relación a la biomasa aérea o total (cuadro 3.3) es semejante para todos los cultivares estudiados, excepto en el primer muestreo en que V. de Grano presenta valores significativamente superiores ($P < 0,01$) a Staro. Es decir, antes del inicio de la bulbificación V. de Grano habría dedicado más energía a la construcción del sistema radicular. El que las diferencias desaparezcan tras la bulbificación parece no concordar con los resultados posteriores obtenidos en campo, en relación a otro parámetro de crecimiento, la longitud radicular (cuadro 3.9). En parte, esta contradicción podría explicarse en base al sistema de cultivo en el experimento 3.1, donde, en la bulbificación, el medio (volumen de tubo) podría haber limitado el crecimiento y acortar las posibles diferencias.

Se observa que la fracción de biomasa radicular disminuye a partir de bulbificación, en que los asimilados son traslocados al bulbo, repercutiendo en un menor crecimiento radicular. Existe también un salto importante en esta disminución que se situaría próximo a la madurez (a finales de julio) y que iría ligado a la senescencia radicular.

En la bibliografía no existen resultados concretos sobre el reparto de biomasa a excepción de los trabajos de Butt (1968) en condiciones controladas, sobre partición de peso seco de limbos y peso seco de raíces y de peso seco de limbos en relación a peso seco de vainas, para el cultivar Wijbo. Comparando los resultados de Butt (1968) en condiciones de radiación no limitantes y los obtenidos en el presente trabajo, cabe señalar que las comparaciones no pueden realizarse adoptando como criterio días o tiempo desde que se produce el 50% de la emergencia. Las comparaciones no son posibles porque si se analiza con detalle los resultados presentados gráficamente por Butt, las plantas presentarían problemas en la bulbificación, puesto que en el último muestreo (194 días tras la emergencia) se alcanza un valor máximo de fraccionamiento de biomasa aérea (fba) igual a 0,5, cuando el criterio medio de inicio de bulbificación se sitúa en valores próximos a 1,2 (Brewster, 1982a). En base a lo señalado anteriormente, si se comparan los valores de fr (peso seco raíces/peso seco limbo más vainas) obtenidos por Butt y comprendidos entre 15,2 - 20,0, se observa que sus valores se aproximan a los obtenidos en este trabajo antes del inicio de la bulbificación (cuadro 3.3). En otro trabajo (Leskovar y Stoffella, 1995) realizado en trasplantes del cultivar Texas Grano 10154, que crecían en celdas de 7,1 cm³, los valores de fr, en trasplantes de 42 y 56 días, variaban entre 0,24 y 0,27 respectivamente, valores parecidos a los de V. de Grano a los 50 días tras la emergencia. Sin embargo, a los 84 días tras la emergencia el fr de los trasplantes era 0,29. Cabe destacar, que se trataba de trasplantes y que la época de transplante era el ocho de diciembre, con lo que

este cultivar tampoco iniciaba el proceso de bulbificación. Así, se pueden distinguir dos períodos en la variación de fr, antes del inicio de la bulbificación con valores más o menos constantes variando según el cultivar y el período tras la bulbificación en que fr disminuiría.

La disminución de los valores de fr tras el inicio de la bulbificación, a pesar de la ausencia de referencias, parecen lógicos ya que, a partir de la bulbificación prevalece el crecimiento de la vaina envolvente frente al limbo y las raíces.

Los valores de longitud radicular específica (LRE) en el muestreo del 9 de junio (cuadro 3.5) pueden considerarse relevantes por su concordancia con otras observaciones de partición de biomásas y de longitud radicular, aunque el número reducido de datos, limitado por la necesidad de procesar rápidamente el sistema radicular, haya reducido la significación de los mismos. Para el nivel de significación obtenido ($P < 0,08$) y considerando los valores medios de LRE así como las desviaciones típicas, V. de Grano presenta unos valores superiores al de los otros cultivares. La absorción de agua y nutrientes por parte del sistema radicular se hallan mejor relacionados con la longitud radicular que con el volumen radicular, por tanto, valores más altos de LRE implicarían una mayor potencialidad para obtener los recursos mencionados. En general, los valores de LRE obtenidos se situarían en el intervalo de los valores bajos recopilados para distintas plantas en la bibliografía, con un intervalo de variación para diferentes cultivos entre 0,5 - 75 cm mg^{-1} (Robinson y Rorison, 1983; Atkinson, 1980; Fitter, 1985). Si se comparan los valores obtenidos en la cebolla con un cultivo con unas raíces mucho más finas como la cebada (*Hordeum vulgare* L.), que puede alcanzar los 40 cm mg^{-1} (Fitter, 1985), las plantas de cebolla con valores bajos de LRE (cuadro 3.5) podrían tener mayores dificultades en obtener agua y nutrientes.

El coste estructural del sistema radicular es proporcional a la biomasa radicular que, a su vez, es función del volumen y que depende del cuadrado del diámetro. Consecuentemente, los costes de construcción del sistema radicular se incrementan de forma importante al incrementarse el diámetro, lo que supone una nueva desventaja de este cultivo en cuanto a aprovechamiento del carbono fijado por la parte aérea.

Los valores de peso seco de bulbo por planta en el último muestreo (experimento 3.1) aunque normales en la zona del ensayo en términos de crecimiento alcanzado (cuadro 3.2), no pueden adoptarse directamente como producción, ya que el número de plantas muestreadas (seis) sería insuficiente para una evaluación precisa de producciones. Los valores de producción inferiores al experimento en campo, se explicarían por la época de siembra que se realizó en este experimento (3.1) un mes más tarde que en el experimento 3.2. Al controlar el fotoperíodo el inicio de la bulbificación, se habría iniciado este proceso en el experimento 3.1 con una menor área foliar por planta respecto al experimento 3.2, por ser el período de crecimiento desde siembra a bulbificación inferior .

La producción de bulbo en campo, expresada en materia seca (cuadro 3.6), con un tamaño de bulbo aceptable para las exigencias de mercado (MAPA, 1988b), supera las máximas producciones obtenidas en parcelas experimentales (Brewster, 1994). Probablemente, las producciones habrían sido superiores si la recolección se hubiese retrasado dos o tres semanas, ya que, en recolección, las plantas aún presentaban hojas verdes. Las producciones obtenidas en campo indican pues, que el crecimiento de las plantas fue óptimo en todos los cultivares utilizados.

3.5.2. Desarrollo radicular

Los resultados (cuadro 3.7) destacan la estrecha relación entre el desarrollo de la parte aérea y radicular de la planta, ya descrita en trigo (Klepper, Belford y Rickman, 1984) y maíz (Picard, Jordan y Trendel, 1985), sin embargo, el modelo de desarrollo radicular de estos cultivos (Zobel, 1991), diferente de la cebolla, impide comparar las relaciones obtenidas con la de estos cultivos.

La evolución del número total de raíces adventicias para los diferentes cultivares de cebolla, se halla estrechamente ligada a la evolución del número de hojas totales visibles (cuadro 3.7) antes del inicio de la bulbificación.

Se observa (figura 3.2) al acercarse la bulbificación, un cambio en la relación entre el número de hojas y la producción de raíces adventicias nuevas. Hubiesen sido necesarios recuentos posteriores para establecer claramente cómo evoluciona la relación.

La relación obtenida entre el número de raíces adventicias con raíces laterales respecto al total de raíces adventicias (cuadro 3.8) y, en general, los valores bajos de longitud radicular asociados a las raíces laterales (cuadro 3.11), definen la estrategia de esta especie. El incremento del área de absorción de agua y nutrientes, así como el volumen de suelo explorado por las raíces, se consigue no tanto con el desarrollo de raíces laterales, sino con una importante producción de raíces adventicias no ramificadas (cuadro 3.8). Cabe señalar que, en cebolla, la producción de raíces laterales no sigue un modelo posicional previo como se observa en otros cultivos (Charlton, 1991), sino que la producción de raíces laterales es totalmente errática (Pulgarín *et al.*, 1988).

Las observaciones realizadas respecto al orden de ramificación, coinciden con las descripciones de Weaver y Brunner (1927); en raíces viejas se puede asumir que no existen ramificaciones a partir de las raíces laterales primarias.

3.5.3. Longitud radicular

Se ha puesto de manifiesto que la longitud radicular de la cebolla se halla relacionada con el peso seco de la parte aérea (cuadro 3.9). El suponer que dicha relación no se modificó en los experimentos en tubos y en campo queda corroborado por distintas razones: a) en ambos experimentos la longitud radicular no estuvo restringida por el potencial de agua en el suelo b) aunque Aung (1982) demostró que si se utiliza la solución de Hoagland, el número de primordios en la raíz principal de plántulas de tomate se incrementa, estos resultados en tomate no implican que la longitud radicular de las

plantas de cebolla en los tubos, regadas con la solución de Hoagland, tuviese que modificarse respecto a las cebollas fertirrigadas y c) el último muestreo realizado en los tubos fue anterior a la bulbificación, es decir, anterior al período de rápida elongación radicular en donde el volumen del tubo podría ser limitante. Cabe también señalar que las medidas de longitud radicular se realizaron meticulosamente mediante una regla.

La relación obtenida entre LR y PSP, en cebolla, es válida en las condiciones de experimentación (en ausencia de estrés hídrico o de nutrientes), en otras condiciones, bajo estrés, esta relación no es directamente extrapolable. En base a los resultados obtenidos, no es necesario incluir en la relación un término, que evalúe la tasa de descomposición radicular, sugerido por Greenwood *et al.* (1982). Las causas de dicha exclusión son el haber realizado el último muestreo en un intervalo de tiempo inferior a una semana tras el inicio de la madurez y antes del período de senescencia, en que la descomposición de las raíces supera a la producción de raíces nuevas (Jones y Mann, 1963). Además, en las condiciones de siembra directa utilizadas, las raíces no han sufrido tantas limitaciones en su crecimiento como en un sistema de transplante, que era el sistema empleado por Greenwood *et al.* (1982).

El valor superior del intercepto para el cultivar V. de Grano, en la regresión entre longitud radicular y peso seco de la planta, frente a los cultivares Staro y S.W.G. (cuadro 3.10) muestra la diferente estrategia de este cultivar, que invierte más energía que los otros cultivares en el crecimiento radicular. En las condiciones del ensayo, en riego de alta frecuencia, el que V. de Grano tenga más raíces que Staro o S.W.G. en una misma zona no supone ninguna ventaja. En este sentido, sería necesario evaluar, si en sistemas menos intensivos, con bajas densidades y bajo condiciones de estrés hídrico, la habilidad de V. de Grano en producir un sistema radicular más largo para un mismo peso seco de la parte aérea respecto a Staro y S.W.G., especialmente en los estados iniciales, podría implicar, en recolección, unos mayores rendimientos. También sería necesario cuantificar la nueva distribución del sistema radicular.

El máximo alargamiento radicular se produce dos semanas antes de la bulbificación (figura 3.3), período que puede considerarse crítico. La longitud radicular se incrementa rápidamente entre 81 y 94 días tras la emergencia y se estabiliza en los últimos muestreos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Moore *et al.* (1987) en el cultivar Brown Beauty en condiciones de campo, bajo riego y adoptando como umbral de riego -40 kPa; en esas condiciones hallaron que la máxima tasa de elongación radicular se producía a los 90 días tras el establecimiento, mientras que la bulbificación y la senescencia de las raíces se producía respectivamente a los 96 y 115 días tras el establecimiento.

El inicio de la bulbificación se produce con un sistema radicular muy activo (cuadro 3.2, figura 3.3), coincidiendo con las observaciones de Heath y Holdsworth (1948) que además señalaron que la emergencia de raíces nuevas se suprime en plena bulbificación, por lo que el incremento en bulbificación de la longitud radicular, puede relacionarse con la

elongación de las raíces existentes. Los resultados obtenidos en campo explicarían porqué en el trabajo de Lis *et al.* (1967), cuando se produce el estrés hídrico una vez el bulbo ha alcanzado la mitad de su peso máximo, no se observa una disminución significativa del peso de los bulbos en recolección de las plantas sometidas a estrés hídrico respecto a los de las plantas que han tenido plena disponibilidad hídrica en el periodo citado.

3.5.4. Distribución radicular en campo

La hipótesis inicial de que el sistema radicular en cebolla se halla prácticamente restringido a los primeros 60 cm se confirma en la presente investigación ya que solamente un 2 - 3% de la longitud radicular total se ha cuantificado por debajo de dicha profundidad en los sistemas estudiados. Además, un 90% del sistema radicular se halla en los primeros 40 cm del suelo (cuadro 3.12). Greenwood *et al.* (1982), en un trabajo sobre el sistema radicular de cebolla, concluyó que el 90% de la densidad de longitud radicular se hallaba en los primeros 15 cm y su valor medio era 1,0 cm cm⁻³. En el experimento 3.2, los valores medios de densidad de longitud radicular entre 0 y 20 cm oscilan entre 8,1 y 9,1 cm cm⁻³. La explicación a estas importantes diferencias se halla en la cantidad de materia seca (en bulbo) producida en el momento de la cosecha: 2,85 Mg ha⁻¹ en el trabajo de Greenwood *et al.* (1982), indicando que han existido factores que han condicionado el crecimiento y entre 11,04 - 13,99 Mg ha⁻¹ en el experimento 3.2 (cuadro 3.6). Butt (1968) estableció que en condiciones en que el proceso de fotosíntesis estuviese limitado, en sus ensayos mediante reducción de la intensidad lumínica, las raíces son la parte de la planta que veía más afectado su crecimiento, de manera que una mayor fracción de asimilados es utilizada en el crecimiento de la parte aérea, mientras que una menor es traslocada a las raíces. Asimismo, el número de raíces por planta estaba positivamente relacionado con la intensidad lumínica; consecuentemente, si la tasa fotosintética se incrementa, el crecimiento radicular puede verse favorecido, probablemente en diámetro, pero también en el número de raíces y en su longitud. Si las producciones en términos de peso seco total en bulbo se incrementan cuatro o cinco veces en condiciones no limitantes de crecimiento, la densidad de longitud radicular puede incrementarse en mayor proporción (cuadro 3.6, figura 3.4). Si se compara el valor de la máxima densidad de longitud radicular en los primeros 20 cm de suelo, con datos obtenidos en cereales u otros cultivos hortícolas resumidos por Barraclough (1989a), la Lv del experimento 3.2 es similar a la de los cereales aunque, en función de las condiciones de crecimiento, se pueden hallar grandes diferencias en los valores de Lv. En base a la recopilación de Barraclough (1989a), en trigo, bajo riego, y como consecuencia de una sequía de cien días, Lv disminuye de 12,2 cm cm⁻³ a 7,3 cm cm⁻³, para unas variaciones en peso seco aéreo de la planta entre 1063 g m⁻² y 1068 g m⁻² respectivamente, en el momento de máximo crecimiento radicular.

En cebolla, las raíces se hallan mayoritariamente concentradas en los primeros 40 cm, a diferencia de los cereales con un mayor número de raíces a mayores profundidades. Así, los cálculos que se puedan realizar en cereales respecto a la

densidad de longitud radicular mínima necesaria para evitar limitaciones en el suministro por difusión de nutrientes a las raíces, no pueden ser aplicados directamente en cebollas.

Aunque bajo riego por goteo los valores de L_v y LR , así como la profundidad de suelo con valores altos de L_v son superiores a los descritos en la literatura (Greenwood *et al.*, 1982), el sistema radicular es poco denso, si se compara con los cereales.

El rápido crecimiento radicular previo a la formación del bulbo (figura 3.4) avala los resultados de Lis *et al.* (1967), en ensayos de riego con transplantes del cultivar Valenciana, que indicaban que el inicio de la formación del bulbo es un período crítico en relación al suministro de agua mediante el riego. Si existe sequía en este período crítico disminuye el número de hojas visibles y el peso del bulbo. El mantener un continuo suministro de agua en este estadio es esencial para permitir el alargamiento de las raíces.

Considerando la elevada sensibilidad de la cebolla al estrés hídrico (Millar, Gardner y Goltz, 1971) especialmente en el periodo previo a la bulbificación y durante la bulbificación, será necesario mantener unos elevados potenciales hídricos en el suelo, obligando a un riego de alta frecuencia.

La fertilización nitrogenada debe de acomodarse a este modelo radicular. En los últimos estadios de crecimiento, período en el que se necesita un continuo suministro de agua, el incremento de la densidad de longitud radicular permite una extracción de nitrógeno inmediata y controla la lixiviación. En los estadios iniciales la densidad de longitud radicular es baja (figura 3.3), siendo necesario un cuidadoso fraccionamiento en el tiempo del nitrógeno.

La longitud radicular en relación al peso seco de la plántula (bulbo más hojas) en el último muestreo (5 de agosto de 1992), se halla entre 9 y 11 $m\ g^{-1}$. Ello implica, considerando los datos de Barraclough (1989), que las cebollas, en el experimento 3.2 tienen una longitud radicular por unidad de peso seco tres veces inferior al que, por ejemplo, posee el trigo de invierno o la mitad de la cebada (Villar, 1989). Así, la cebolla exige unos niveles de fertilidad en el suelo muy superiores a los de un cereal, para mantener una misma extracción de nutrientes.

3.6. CONCLUSIONES

- El reparto de biomasa radicular respecto a la biomasa aérea (fr) puede expresarse en base del propio fraccionamiento de la biomasa aérea ($fba = \text{peso seco vaina envolvente} / \text{peso seco limbo}$). La relación es lineal en términos de logaritmos de estas variables, es decir, $\ln fr = a + b \ln fba$.
- En la relación anterior, el valor de la pendiente (b) es distinta ($P < 0,01$) para todos los cultivares. V. de Grano y Southport White Globe no presentan un origen (a) significativamente distinto entre ellos, aunque si es significativamente distinto respecto de Staro ($P < 0,01$).

- La longitud radicular específica antes de la bulbificación es superior en V. de Grano para $P < 0,08$ respecto a los otros cultivares. Son necesarios más experimentos para clarificar esta tendencia y las posibles ventajas en la absorción de agua y nutrientes.
- El desarrollo radicular se halla ligado al desarrollo foliar en el intervalo previo a la bulbificación. La relación entre el número de raíces adventicias y el número total de hojas visibles producidas previa la bulbificación (relación de bulbificación $< 1,5$) es lineal en términos de logaritmos de las variables, no existiendo diferencias entre cultivares.
- El incremento de la longitud radicular en el tiempo se consigue no tanto con el desarrollo de raíces laterales sino con una importante producción de raíces adventicias no ramificadas.
- En sistemas intensivos de producción de cebolla en campo y en ausencia de estrés hídrico, el 90% de la longitud radicular se halla en los primeros 40 cm, con valores de densidad de longitud radicular entre 8 - 9 cm cm^{-3} en los primeros 20 cm.
- En ausencia de estrés hídrico la relación entre la longitud radicular (LR) y el peso seco de la parte aérea (PSP), en cebolla, es lineal cuando las variables se expresan en términos de logaritmos, es decir, $\ln LR = a + b \ln PSP$.
- El valor del intercepto en la relación anterior para el cultivar V. de Grano es superior al de los cultivares Staro y Southport White Globe ($P < 0,001$), así a igual peso seco de la parte aérea la longitud radicular del cultivar V. de Grano es mayor que la de los cultivares Staro y Southport White Globe.