

6.4.3. Radiación interceptada, radiación transmitida y radiación reflejada.

Se presentan de forma separada los resultados correspondientes a los experimentos 6.1, 6.2 y 6.3.

6.4.3.1. Experimento bajo un amplio intervalo de densidades y para dos niveles de radiación incidente. (Experimento 6.1)

Los valores de la radiación solar interceptada para los dos experimentos de 1992, bajo el ambiente radiativo natural (Exp. 6.1.1) y sombreado neutral (Exp. 6.1.2) se resumen en el cuadro 6.31. En condiciones de iluminación naturales, los valores de la radiación solar interceptada durante el proceso de bulbificación son muy elevados si se compara con la bibliografía (Brewster, 1994) y por consiguiente, existe la potencialidad para alcanzar elevadas producciones aún a bajas densidades. Aunque durante el proceso de bulbificación la radiación interceptada se incrementa con la densidad y en consecuencia la producción de materia seca, cabe señalar que si se considera la planta individualmente, la reducción del diámetro del bulbo (cuadro 6.12) limita la comercialización a elevadas densidades.

En condiciones de sombreado, al reducirse la radiación incidente se limita el crecimiento foliar de las plantas (cuadro 6.8) anulándose las diferencias entre densidades.

Cuadro 6.31. Porcentaje de radiación solar interceptada (0,35-2,5 μm) a lo largo del ciclo de cultivo en condiciones de iluminación normales y de sombreado neutral para las distintas densidades ⁽¹⁾.

Radiación	Densidad (plantas m ⁻²)	Fecha de medición				
		15.06.92	22.06.92	02.07.92	15.07.92	21.07.92
Condiciones naturales		**	**	**	**	**
	20	32,78 b	34,73 d	47,75 c	64,80 c	63,27 c
	40	38,33 b	44,12 c	58,32 b	71,37 b	73,60 b
(Experimento 6.1.1)	80	51,08 a	56,92 b	62,27 b	80,67 ab	76,10 ab
	160	58,13 a	70,77 a	74,77 a	83,63 a	83,80 a
Sombreado		ns	ns	ns	ns	ns
	20	21,22	23,77	24,16	29,47	34,45
(Experimento 6.1.2)	40	24,32	25,69	21,43	35,82	35,15
	80	23,65	22,88	23,29	35,14	29,87
	160	27,15	30,38	25,93	39,49	36,45

ns= no significativo

**=significativo a nivel 1%

(1) Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0.05$).

En cebolla resulta difícil conseguir una interceptación de la radiación solar superior al 80% debido a la disposición foliar que es marcadamente vertical aunque al avanzar el ciclo tiendan las hojas hacia posiciones más horizontales.

6.4.3.2. Experimento con distintas épocas de siembra. (Experimento 6.2).

En el experimento con distintas épocas de siembra se observa la igualdad en la radiación interceptada entre las dos primeras siembras a partir de julio (figura 6.25) que se corresponde con una igualdad en las producciones (cuadro 6.18) pero también en el número de flores desarrolladas (cuadro 6.16).

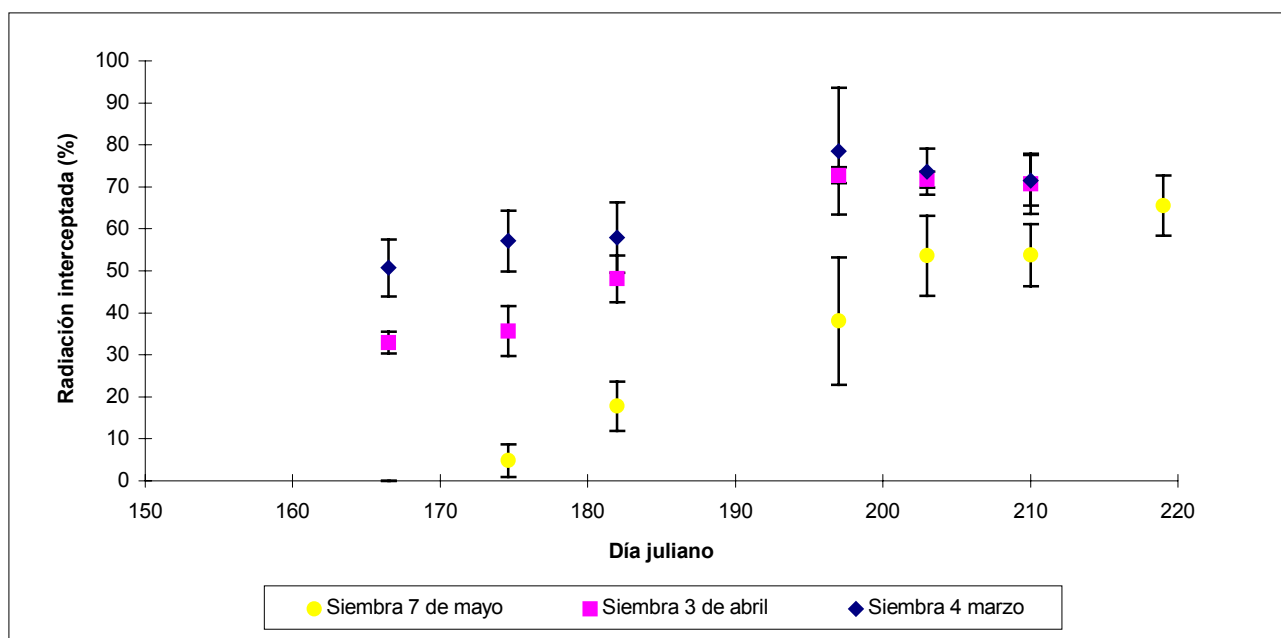


Figura 6.25. Evolución de la radiación solar interceptada (0,35 - 2,5 μm) para las distintas épocas de siembra. Las líneas verticales corresponden a los valores de la desviación típica.

En la siembra tardía de 7 de mayo no se alcanza el valor medio máximo de radiación interceptada (80 % aproximadamente) lo que constituye la limitación para alcanzar producciones tan elevadas como en las otras fechas de siembra (cuadro 6.18) .

6.4.3.3. Experimento con varios niveles de fertilización nitrogenada en distintas densidades. (Experimento 6.3).

En 1994, el valor máximo de la radiación solar interceptada registrado (cuadro 6.32) ha sido inferior a los máximos registrados en 1992 (cuadro 6.31 y figura 6.25), estas diferencias van asociadas a que en 1994 no se hicieron mediciones posteriores al uno de julio como en 1992 debido al adelanto de la madurez en 1994 (cuadro 6.29) que se produjo unos quince días antes en relación a 1992 (cuadro 6.11 y cuadro 6.17). No se realizaron mediciones una vez las plantas empezaron a tumbarse.

Cuadro 6.32. Porcentaje de radiación solar interceptada (RSI; 0,35 - 2,5 μm) y de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Fecha	25.05.94		04.06.94		08.06.94		16.06.94		22.06.94		01.07.94	
Variable	RSI	RFAI	RSI	RFAI	RSI	RFAI	RSI	RFAI	RSI	RFAI	RSI	RFAI
Densidad (plantas m ⁻²)	-	**	**	**	-	**	-	**	-	**	ns	-
30	-	4,00c	17,98c	26,40c	-	35,58c	-	43,54c	-	44,74b	57,82	-
60	-	9,06b	27,00b	38,78b	-	55,51b	-	60,74b	-	59,11a	64,01	-
90	-	12,39a	32,96a	48,46a	-	60,38a	-	68,62a	-	64,62a	66,38	-
Abonado (kg N ha ⁻¹)	-	ns	ns	ns	-	ns	-	*	-	ns	ns	-
240	-	9,09	25,79	39,52	-	50,21	-	54,15b	-	52,99	60,89	-
420	-	7,88	26,17	36,24	-	50,47	-	60,32a	-	58,77	64,84	-
Densidad * Abonado	-	ns	ns	ns	-	ns	-	ns	-	ns	ns	-

ns= no significativo

*= significativo a nivel 5%

**= significativo a nivel 1%

(1) Medias de dos lecturas en cada parcela elemental y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0.05$).

Las diferencias en RFAI van ligadas al factor densidad, aunque puntualmente justo antes del inicio de la bulbificación (3 a 5 días) se observa una mayor intercepción de RFA al incrementarse la cantidad de abono nitrogenado aportado que no se correlaciona con las diferencias en el índice de área foliar ni con el contenido de nitrógeno en hoja (apartado 6.4.3) ni con las reflexiones en distintas longitudes de onda de la radiación incidente dentro del visible (cuadro 6.34 a cuadro 6.39).

De forma general se admite que, para un intervalo específico del periodo de crecimiento, la radiación fotosintéticamente activa transmitida (RFAT) en relación a la radiación fotosintéticamente activa que incide sobre una cubierta vegetal (RFA), disminuye exponencialmente al incrementarse el índice de área foliar (IAF), de manera que en base a esta ecuación: $RFAT = e^{-K \cdot IAF}$ (Monteith y Unsworth, 1990) la relación de la figura 6.26 sería una recta, cuya pendiente negativa correspondería al coeficiente de extinción (K).

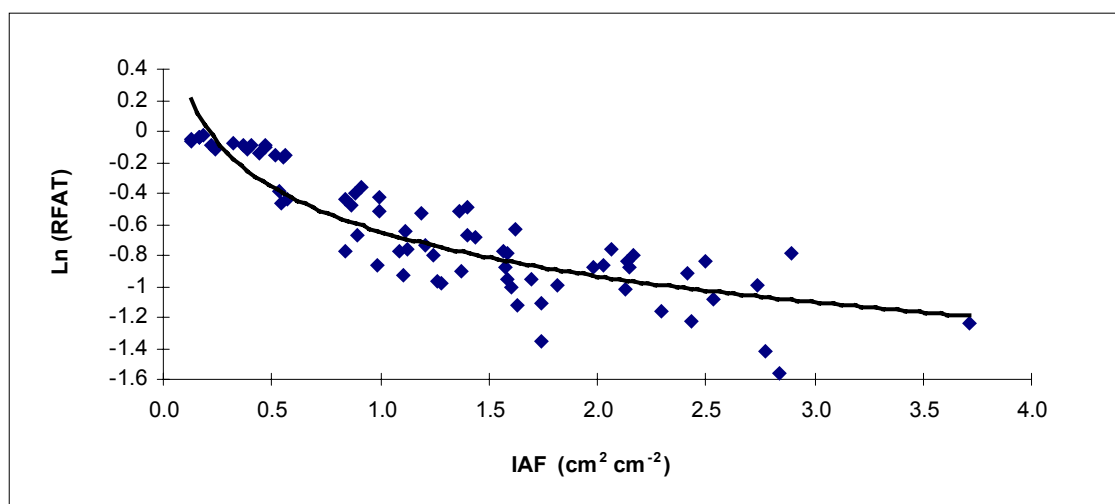


Figura 6.26. Relación entre el logaritmo natural de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa transmitida (Ln (RFAT)) y el índice de área foliar (IAF).

No obstante, tal como se observa en la figura 6.26 la relación no se ajusta a una recta sino a una ecuación de segundo grado (cuadro 6.33). La ecuación se ha obtenido imponiendo la condición de pasar por el origen (0,0).

Cuadro 6.33. Relación entre la fracción de la radiación fotosintéticamente activa transmitida (RFAT) y el índice de área foliar (IAF)⁽¹⁾.

Ecuación	R ² (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
$\text{Ln (RFAT)} = a \text{ IAF} + b \text{ (IAF)}^2$	0,80 (70)	-0,68 (0,04)	0,10 (0,02)

(1) Relación obtenida desde seis hojas visibles hasta inicio de bulbificación.

Así, en cebolla, se ralentiza la disminución de la RFAT, o de otro modo, se incrementa más lentamente la RFAI al incrementarse el IAF, que si se considerase la ecuación general $\text{RFAT} = e^{-K \text{ (IAF)}}$ al no ser el coeficiente de extinción una constante a lo largo del período de crecimiento exponencial herbáceo.

Con los valores de reflexión de la radiación en las distintas bandas espectrales se realizó un análisis de varianza (cuadros 6.34 a 6.41). Se presenta únicamente la separación de medias para los efectos principales (densidad y abonado) cuando las interacciones entre dichos factores principales no fueron significativas. Los dos niveles de abonado nitrogenado aplicados en el ensayo, no afectan significativamente a la cantidad de radiación reflejada en las distintas bandas excepto para las longitudes 760,4 y 813,2 nm en donde existe interacción de la densidad con el abonado nitrogenado a partir de las mediciones de 8 de junio. Los valores de la reflectividad en las diferentes bandas y para las distintas densidades han sido siempre significativos.

Cuadro 6.34. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 460,2 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾ .

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.06.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	12,0a	8,4a	7,4a	6,9a	6,5a
60	10,0b	5,7b	5,0b	5,0b	4,9b
90	9,2b	5,1c	4,5c	4,6c	4,5c
MDS	1,0	1,0	0,3	0,4	0,3
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	10,5	6,5	5,7	5,6	5,4
420	10,4	6,4	5,5	5,4	5,2
MDS	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

ns = no significativo ** = significativo al nivel 1%

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

En esta banda del visible (460,2 nm) correspondiente al azul (cuadro 6.34) es en donde existe la reflectividad mínima de las ocho longitudes de onda analizadas y se corresponde con el máximo espectro de absorción de la clorofila b pero también se corresponde con la reflectividad mínima del suelo dentro de la banda del visible (Chuvienco,1996).

Cuadro 6.35. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 507,4 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾ .

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.06.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	14,5a	9,9a	8,8a	8,2a	7,8a
60	12,1b	6,9b	6,1b	6,1b	6,1b
90	11,2b	6,1b	5,4c	5,5c	5,4c
MDS	1,3	1,1	0,4	0,4	0,3
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	12,6	7,7	6,9	6,7	6,5
420	12,6	7,6	6,7	6,6	6,4
MDS	1,0	0,3	0,3	0,3	0,2
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

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

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

La reflectividad en la longitud de onda correspondiente al verde (507,4 nm; cuadro 6.35) no se presenta como un máximo dentro del visible, ello podría explicarse por no cubrir la cubierta vegetal totalmente el suelo.

Cuadro 6.36. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 558,5 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.06.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	16,5a	12,1a	11,0a	10,3a	9,9a
60	14,5b	9,2b	8,3b	8,0b	8,3b
90	13,6b	8,3b	7,6c	7,5c	7,6c
MDS	1,2	1,1	0,4	0,4	0,3
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	14,9	9,9	9,1	8,7	8,6
420	14,9	9,8	8,9	8,6	8,5
MDS	1,0	0,4	0,3	0,3	0,2
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

ns= no significativo

**= significativo a nivel 1%

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

Cuadro 6.37. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 613,4 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.06.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	20,8a	14,7a	13,3a	12,2a	11,6a
60	17,5b	10,3b	9,3b	9,1b	9,0b
90	16,3b	9,1b	8,4c	8,3c	8,1c
MDS	1,7	1,7	0,6	0,6	0,5
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	18,1	11,4	10,5	10,0	9,7
420	18,3	11,3	10,2	9,7	9,4
MDS	1,3	0,6	0,5	0,5	0,4
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

ns= no significativo

**= significativo a nivel 1%

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

La reflectividad en la banda del amarillo (558,5 nm; cuadro 6.36) se presenta como intermedia entre el verde (cuadro 6.35) y la anaranjada (cuadro 6.37) y al igual que en el resto de medidas dentro del visible es menor al incrementarse la densidad de plantas o a mayor recubrimiento del suelo.

Cuadro 6.38. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 660,9 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.06.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	19,4a	14,7a	13,1a	11,9a	11,0a
60	16,2b	10,2b	9,1b	8,8b	8,4b
90	14,9b	8,8b	8,0c	7,9c	7,4c
MDS	1,6	1,7	0,6	0,6	0,5
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	16,7	11,2	10,2	9,7	9,1
420	17,0	11,2	9,9	9,4	8,8
MDS	1,3	0,6	0,5	0,5	0,4
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

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

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

Cuadro 6.39. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 705,5 nm a lo largo del ciclo de cultivo para las distintas densidades y abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de medición				
	25.05.94	08.08.94	16.06.94	22.06.94	01.07.94
Densidad (plantas m⁻²)	**	**	**	**	**
30	22,9a	17,7a	16,5a	15,3a	14,5a
60	20,1b	13,7b	12,7b	12,3b	12,3b
90	18,9b	12,5b	11,8c	11,6c	11,4c
MDS	1,5	1,7	0,5	0,5	0,4
Abonado (kg N ha⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns
240	20,5	14,6	13,8	13,2	12,8
420	20,8	14,6	13,5	12,9	12,7
MDS	1,3	0,5	0,4	0,4	0,3
Densidad * Abonado	ns	ns	ns	ns	ns

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

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones. Valores medios con letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a nivel 5%.

La reflectividad en la banda anaranjada (613,4 nm; cuadro 6.37) se presenta intermedia entre las bandas del rojo (cuadros 6.38 y 6.39) y su significación respecto a las variables estudiadas es como en las otras bandas del visible.

La reflectividad en la banda 660,9 nm (cuadro 6.38) puede considerarse inversamente proporcional a la superficie verde, de forma que disminuye al avanzar el ciclo. La menor reflectividad el 1 de julio, iniciada la bulbificación, podría también atribuirse a un cambio en la orientación foliar que compensaría el que no exista un incremento de IAF.

En la banda del rojo (705,5 nm; cuadro 6.39) se observa, después de la ligera disminución de la reflectividad en la banda de 660,9 nm (cuadro 6.38), un incremento de la reflectividad, de manera que se entraría en la zona de inflexión donde rápidamente se incrementa la radiación reflejada por parte de la cubierta vegetal al incrementar la longitud de onda analizada. En cambio para el suelo, la radiación reflejada en el infrarrojo cercano es sólo ligeramente superior a la radiación reflejada dentro de la longitud de la radiación fotosintéticamente activa.

En las longitudes de onda del infrarrojo 760,4 nm y 813,2 nm (cuadro 6.40 y cuadro 6.41) se observa una interacción significativa entre las variables densidad y abonado nitrogenado a partir de las lecturas de 8 de junio, es decir, a partir de que las plantas superan $190 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ del área foliar de una cara de las hojas (cuadro 6.26) y de que se observe una inflexión en el fraccionamiento de la biomasa aérea (figura 6.23), de manera que se incrementa rápidamente el peso seco del bulbo en relación al peso seco de las hojas.

En todas las observaciones a partir del 8 de junio, la reflectividad se incrementa al incrementarse la densidad, aunque este incremento es distinto según el abonado nitrogenado aplicado.

En la banda 760,4 nm (cuadro 6.40) a bajas densidades ($30 \text{ plantas m}^{-2}$), la reflectividad es superior en las parcelas abonadas con menor cantidad de nitrógeno (240 kg N ha^{-1}) frente al abonado incrementado (420 kg N ha^{-1}); al incrementarse la densidad ($60 \text{ plantas m}^{-2}$) prácticamente no existe diferencia entre abonados, únicamente en los muestreos de 16 de junio y 22 de junio en inicio de la bulbificación donde la reflectividad es superior con el abonado nitrogenado incrementado. Finalmente, a mayor densidad ($90 \text{ plantas m}^{-2}$), la reflectividad es siempre superior a mayor dosis de abonado nitrogenado.

En la longitud de onda de 813,2 nm (cuadro 6.41), se presentarían las mismas diferencias en el muestreo de ocho de junio, es decir, en esta fecha a densidad de $30 \text{ plantas m}^{-2}$ la reflectividad es mayor a menor dosis de abonado nitrogenado mientras que para las otras densidades es a la inversa. Esta mayor reflectividad a mayor dosis de abonado nitrogenado se mantiene en la densidad de $60 \text{ plantas m}^{-2}$ en el muestreo de dieciséis de junio y en el de 1 de julio para $90 \text{ plantas m}^{-2}$. También en esta longitud de onda (813,2 nm) la reflectividad se incrementa al hacerlo la densidad.

Cuadro 6.40. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 760,4 nm a lo largo del ciclo de cultivo, en las distintas densidades con varios niveles de abonado nitrogenado ⁽¹⁾.

Fecha de medición	25.05.94		08.06.94		16.06.94		22.06.94		01.07.94	
Abonado (kg N ha⁻¹)	240	420	240	420	240	420	240	420	240	420
Densidad (plantas m⁻²)										
30	29,9	28,6	31,9	30,7	32,4	31,3	33,3	32,1	35,3	34,4
60	30,4	30,6	32,8	33,1	33,1	33,9	33,0	33,7	36,6	37,1
90	30,1	30,2	33,4	34,5	34,0	34,6	33,9	34,4	37,4	39,1
MDS para densidades	3,1		1,1		0,6		0,4		1,8	
MDS para abonado	0,7		0,3		0,5		0,3		0,5	
Abonado*Densidad	ns		**		**		**		**	

ns = no significativo

**= significativo a nivel 1%

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones.

Los valores de la mínima diferencia significativa (MDS) para cada fecha de medición corresponden al nivel 5%.

Cuadro 6.41. Reflectividad (%) en la longitud de onda de 813,2 nm a lo largo del ciclo de cultivo, en las distintas densidades con varios niveles de abonado nitrogenado⁽¹⁾.

Fecha de medición	25.05.94		08.06.94		16.06.94		22.06.94		01.07.94	
Abonado (kg N ha ⁻¹)	240	420	240	420	240	420	240	420	240	420
Densidad (plantas m⁻²)										
30	24,8	23,8	29,9	28,9	31,0	30,2	35,1	32,6	31,4	30,9
60	25,2	25,4	31,1	31,5	32,2	33,2	35,4	36,3	32,8	33,4
90	25,1	25,1	31,9	32,9	33,2	33,7	36,6	37,1	34,0	35,3
MDS para densidades	2,5		1,0		0,6		1,0		1,9	
MDS para abonado	0,7		0,3		0,5		0,8		0,6	
Abonado*Densidad	ns		**		*		**		*	

ns = no significativo

* = significativo a nivel 5%

**= significativo a nivel 1%

(1) Media de dos lecturas por parcela elemental (excepto en la medición de 25 de mayo en donde se realizó una lectura) y de tres repeticiones.

Los valores de la mínima diferencia significativa (MDS) para cada fecha de medición corresponden al nivel 5%.

Se conoce que cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés su reflectividad es inferior en el infrarrojo cercano, aumentando en el rojo (Chuvienco, 1996).

No se ha observado de forma significativa este incremento en la banda del rojo (705,5 nm), probablemente por el hecho de que en esta banda la reflexión del suelo, que refleja más en esta banda que la cubierta vegetal, enmascare las posibles diferencias. Estas interferencias no se observan en el infrarrojo cercano a altas densidades ya que el suelo refleja menos en el infrarrojo próximo que la cubierta vegetal. Todo ello indicaría que a elevadas densidades el abonado nitrogenado de 240 kg N ha⁻¹ va asociado a algún tipo de estrés, estrés que también se presenta en el momento de inicio de la bulbificación a densidades de 60 plantas m⁻².

A baja densidad (30 plantas m⁻²) cabe pensar que el estrés esté provocado por un exceso de abonado nitrogenado ligado a un incremento de la salinidad, derivados del efecto de la presencia de fertilizantes en la solución del suelo.

En un enfoque global y considerando que las interacciones observadas en la reflexión en el infrarrojo cercano (813,2 nm), aunque asociadas a posibles estrés, no se han traducido en interacciones en los otros parámetros estudiados en este experimento, se han utilizado todos los datos disponibles en el cálculo de los índices de vegetación RVI y NDVI.

Los índices RVI y NDVI permiten obtener información durante la fase de crecimiento exponencial herbáceo sobre los valores que alcanza el índice de área foliar (figuras 6.27 - 6.28 y cuadro 6.42).

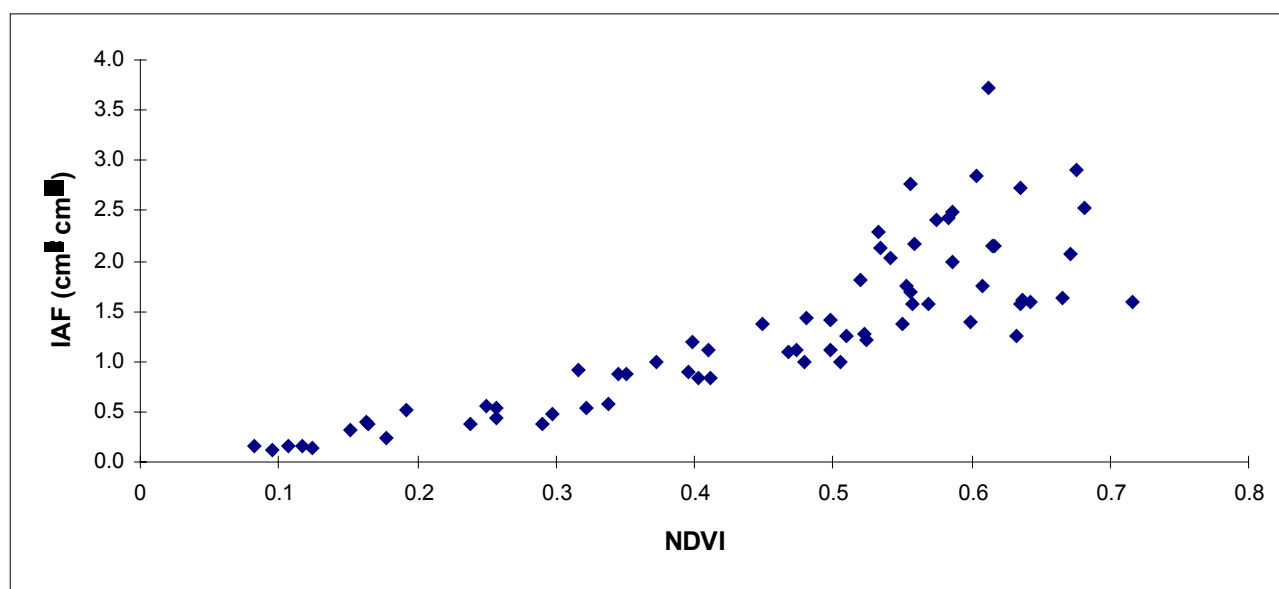


Figura 6.27. Relación entre el índice de área foliar (IAF) y la diferencia normalizada del índice de vegetación (NDVI). Experimento 6.3.

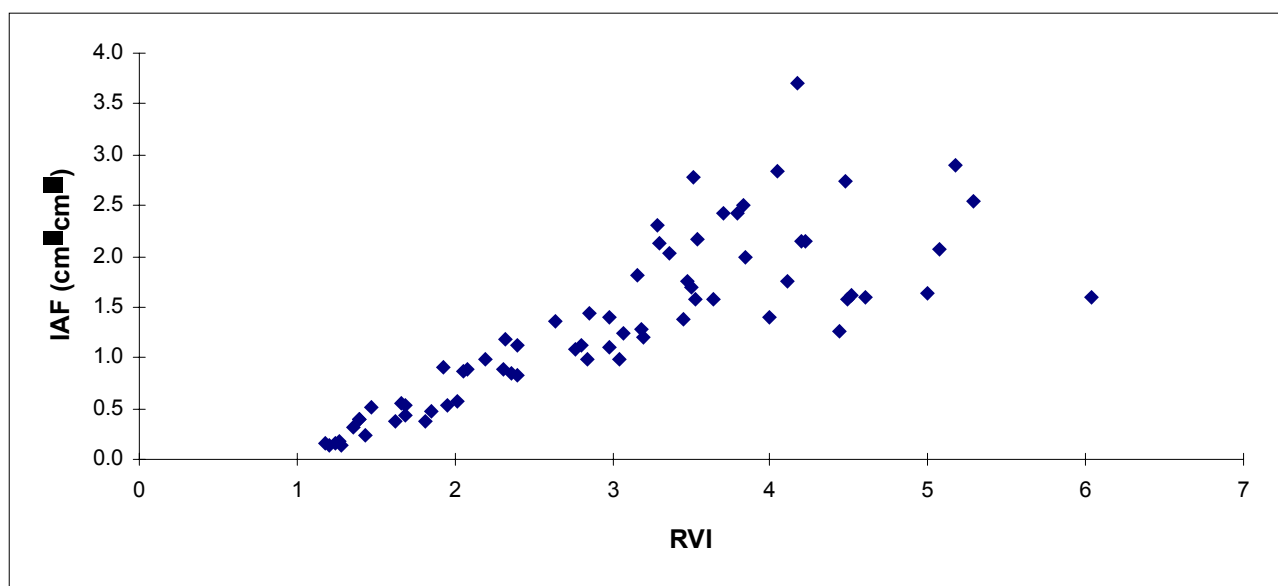


Figura 6.28. Relación entre el índice de área foliar (IAF) y el cociente (RVI) entre la reflexión en la banda del infrarrojo cercano y la reflexión en la banda del rojo. Experimento 6.3.

Observando la figura 6.27 se constata una variación de la diferencia normalizada del índice de vegetación (NDVI) de 0,08 a 0,52 para una variación del índice de área foliar de 0,13 a 1,3 cm^2/cm^2 y una cierta saturación de la diferencia normalizada para valores del índice de área foliar de 1,8 a 3,0 cm^2/cm^2 .

Los valores de RVI en relación al índice de área foliar (figura 6.28) muestran una buena sensibilidad de RVI a los cambios iniciales de IAF hasta valores de 2,0 cm^2/cm^2 . A mayores valores de IAF existe una mayor dispersión de los datos.

Cuadro 6.42. Relaciones del RVI (reflexión en la banda del infrarrojo cercano / reflexión en la banda del rojo) y del NDVI (diferencia normalizada del índice de vegetación) respecto al índice de área foliar (IAF).

Ecuación	R ² (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
$\log(\text{IAF}) = a + b \log(\text{RVI})$	0,83 (70)	-0,774 (0,045)	1,773 (0,097)
$\text{Ln}(\text{IAF}) = a + b \text{NDVI}$	0,86 (70)	-2,010 (0,103)	4,489 (0,217)

El tipo de ecuación que permite relacionar el índice de área foliar con RVI y NDVI coincide en su expresión con la hallada en otros cultivos de algodón, trigo y maíz (Wiegand y Richardson, 1987). Probablemente los valores del coeficiente de determinación se incrementarían si el índice de área foliar se hubiese calculado a partir de mayores superficies muestreadas.

En las figuras 6.29 y 6.30 se representan los valores de RVI y NDVI en relación a la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada. Se incluyen los datos de las tres densidades y de los dos niveles de abonado conjuntamente.

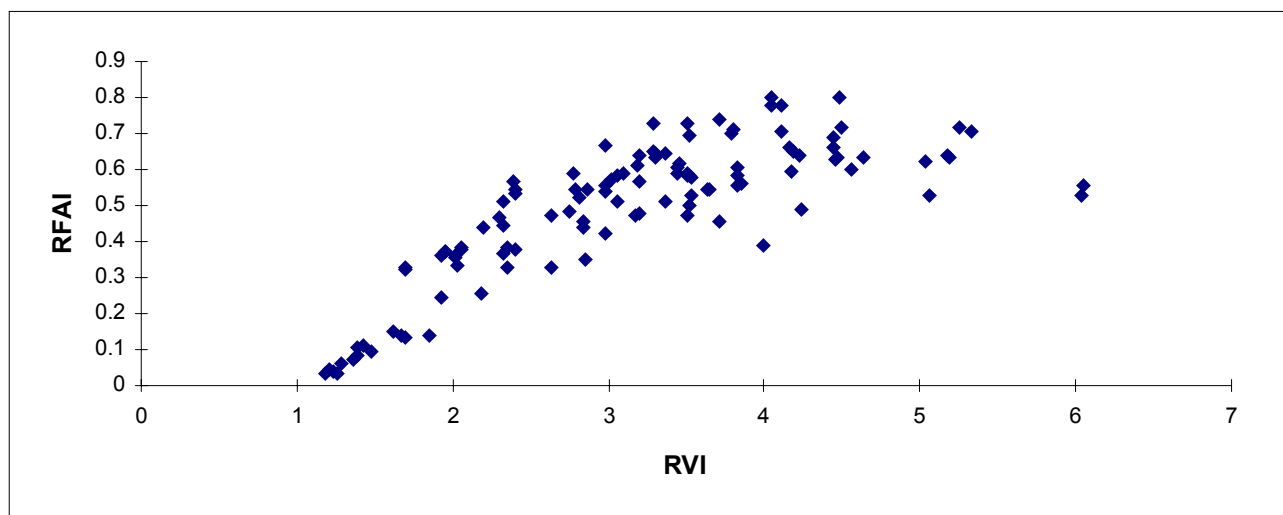


Figura 6.29. Relación entre la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) y el cociente (RVI) entre la reflexión en la banda del infrarrojo cercano y la reflexión en la banda del rojo. Experimento 6.3.

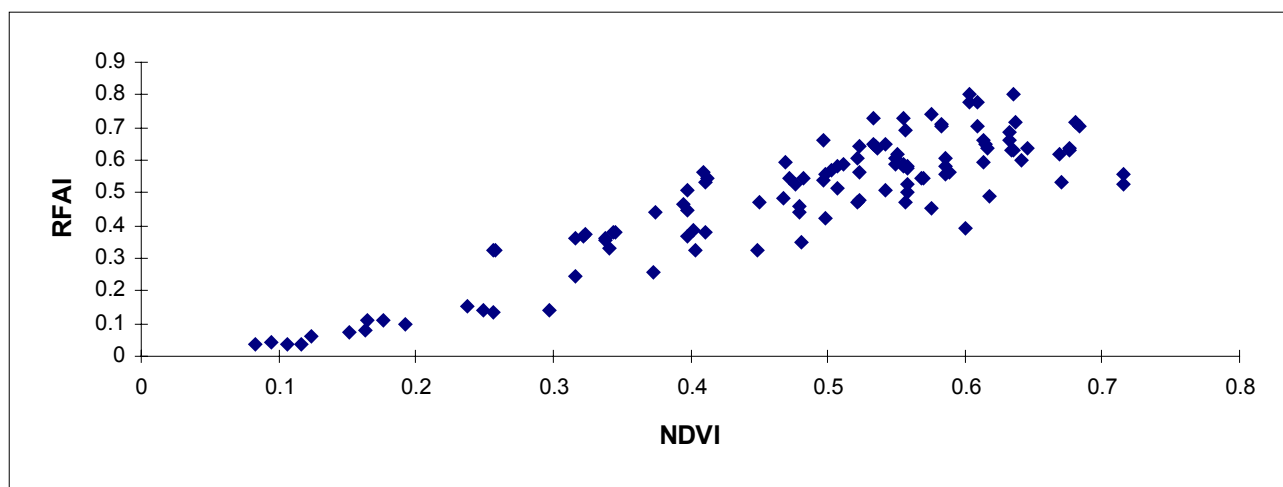


Figura 6.30. Relación entre la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) y la diferencia normalizada del índice de vegetación (NDVI). Experimento 6.3.

Los datos corresponden a las mediciones efectuadas entre el 25 de mayo y el 22 de junio, es decir, desde 6 hojas visibles (cuadro 6.22) hasta el inicio de bulbificación (figura 6.24) cuando se alcanza el valor máximo de índice de área foliar (figura 6.20), es decir, el período correspondiente al crecimiento exponencial herbáceo.

El índice de vegetación RVI y el índice de vegetación NDVI se han intentado relacionar de forma lineal (cuadro 6.43) con la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI).

Cuadro 6.43. Relaciones lineales del RVI (reflexión en la banda del infrarrojo cercano / reflexión en la banda del rojo) y del NDVI (diferencia normalizada del índice de vegetación) respecto a la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada.

Ecuación	R ² (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
RFAI = a + b ln (RVI)	0,76 (112)	0,025 (0,026)	0,434 (0,023)
log (RFAI) = a + b log(NDVI)	0,90 (112)	0,140 (0,018)	1,454 (0,045)

Se observa (cuadro 6.43) que la diferencia normalizada del índice de vegetación permite un mejor ajuste que RVI. RVI en base a la ecuación obtenida sobrestimaría los valores de RFAI en los estados iniciales, cuando RFAI es menor de 0,15 y existe una tendencia a subestimar los valores de RFAI cuando ésta supera el 0,70 lo que resulta lógico si se observa la figura 6.29. Es decir, la relación entre RVI y la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada tiene un buen comportamiento lineal entre valores de RVI comprendidos entre 1 y 4. Una relación lineal directa, sin necesidad de transformación de las variables coincide con otras observaciones de la bibliografía (Wiegand *et al.*, 1991). En cebolla, la relación (RVI-RFAI) se presenta como no lineal. La mayor simplicidad de la estimación de la fracción de RFAI en base al NDVI permite recomendar este índice frente a RVI.

Durante el periodo de crecimiento exponencial herbáceo los valores acumulados de la radiación fotosintéticamente activa interceptada y estimados a partir de la diferencia normalizada del índice de vegetación (NDVI), se relacionan con la biomasa aérea (figura 6.31, cuadro 6.44).

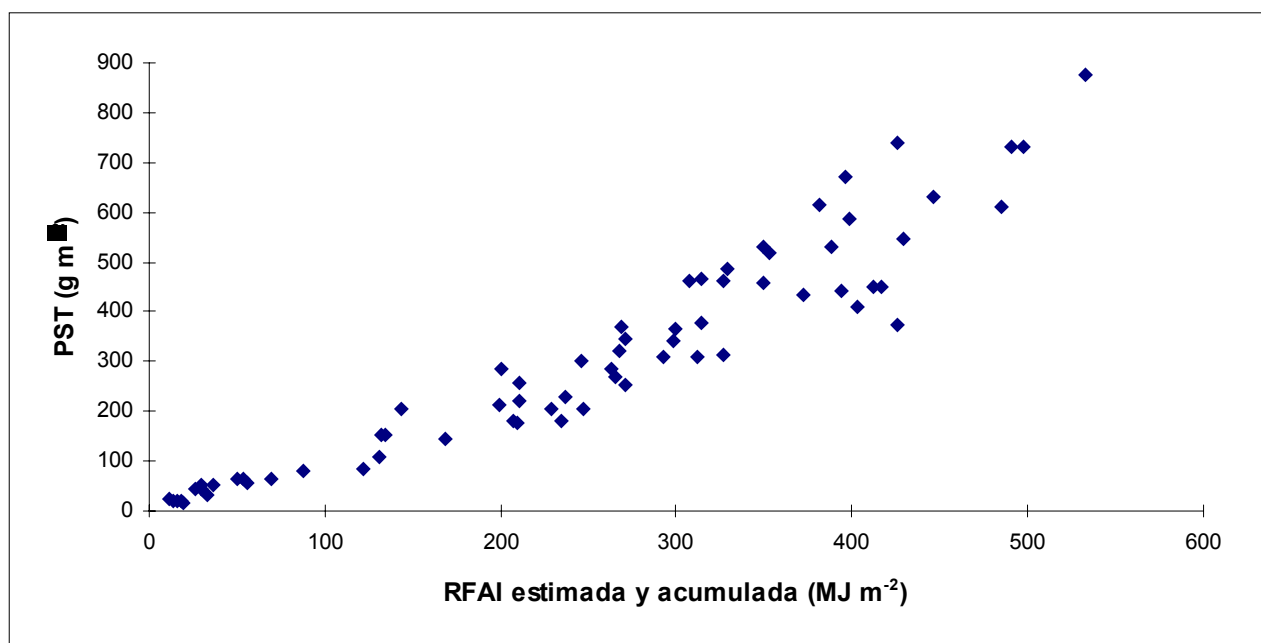


Figura 6.31. Biomasa aérea producida (PST) y radiación fotosintéticamente activa interceptada y acumulada (RFAIa) estimada a partir del NDVI.

Cuadro 6.44. Relación entre la biomasa aérea obtenida (PST, g m⁻²) y radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAIa, MJ m⁻²) y estimada a partir del NDVI.

Ecuación	R ² (g.l. residuales)	a (e.s.)	b (e.s.)
----------	----------------------------------	----------	----------

PST = a + b RFAIa	0,89 (66)	-37,996 (17,022)	1,398 (0,059)
log (PST) = b log (RFAIa)	0,95 (65)	-	1,03 (0,006)

La relación lineal obtenida (cuadro 6.44) indica que el factor de conversión del PAR interceptado en materia seca (α) es de 1,4 g MJ⁻¹ durante el periodo de crecimiento previo a la bulbificación.

Por otro lado, la relación lineal obtenida entre los logaritmos de las variables y que presenta un mejor ajuste que la anterior (cuadro 6.44) indica que, antes del inicio de la bulbificación, a un 10 % de incremento en la radiación fotosintéticamente activa interceptada y acumulada al avanzar el ciclo, le corresponde un incremento del 10,3 % en la biomasa aérea producida. Esta última relación obtenida parece ser la más idónea al considerar los mayores costes de producción en términos de fotoasimilados de los limbos respecto a las vainas envolventes (De Visser, 1994). A medida que la planta se desarrolla, incluso antes del inicio del proceso de bulbificación popiamente dicho, existe un cambio gradual en la producción de limbos hacia la producción o engrosamiento de las vainas. En consecuencia, la tasa de cambio de la biomasa aérea asociada a una unidad de cambio en el valor de RFAIa se incrementa con el tiempo.

6.4.4. Contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo. Evolución del contenido de nitrógeno en las plantas.

Balance de nitrógeno.

Se presentan los resultados obtenidos de contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo y de nitrógeno en las plantas correspondientes a los experimentos 6.1 y 6.2.

6.4.4.1. Experimento bajo un amplio intervalo de densidades y para dos niveles de radiación incidente. (Experimento 6.1).

Los valores medios del contenido de nitrógeno en forma nítrica así como los valores de desviación típica, en diferentes profundidades y épocas de muestreo para la densidad de 80 plantas m⁻² se presentan en el cuadro 6.45 para el experimento 6.1.1 (condiciones de iluminación normales o naturales).

Cuadro 6.45. Contenido de nitrógeno en forma nítrica (kg/ha) para distintas épocas de muestreo y profundidades. Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones típicas. Experimento 6.1.1.

Profundidad (cm)	Fecha de muestreo				
	26.05.92 ⁽¹⁾	20.06.92	03.07.92	21.07.92	05.08.92
00 - 20	70	57 (32)	33 (12)	24 (13)	29 (14)
20 - 40	82	85 (36)	57 (19)	41 (22)	36 (15)
40 - 60	-	66 (14)	52 (10)	47 (26)	37 (15)
60 - 80	-	-	-	43 (22)	42 (19)

(1) En esta fecha solamente se tomaron muestras de un bloque.

La cantidad de nitratos se incrementa en profundidad aunque las diferencias disminuyen en el tiempo.

En la profundidad explorada por las raíces existen más de 100 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ como media en la densidad de 80 plantas m⁻². Los contenidos de nitrógeno total en hojas y bulbos en el cultivo al aire libre (experimento 6.1.1) como con sombreamiento neutral (experimento 6.1.2) se presentan en el cuadro 6.46.

En condiciones de sombreamiento o en el ambiente radiativo natural, existen diferencias en el contenido de nitrógeno en hoja, de manera que antes del inicio de la bulbificación a mayor densidad de plantas menor es el contenido de nitrógeno en hoja. Las diferencias en el contenido de nitrógeno en bulbos se presentan sólo en el ambiente natural, de manera que en estas condiciones (experimento 6.1.1), al incrementarse la densidad, disminuye el contenido de nitrógeno en las catáfilas (hojas basales).

En el ambiente radiativo natural, el índice de área foliar se representa en base a las extracciones de nitrógeno del cultivo desde el 15 de junio hasta que se alcanza el IAF máximo el 15 de julio (figura 6.32).

Cuadro 6.46. Valores medios⁽¹⁾ del contenido de nitrógeno (% p/p) en hojas y bulbos, a lo largo del ciclo del cultivo para las diferentes densidades y condiciones de iluminación.

Parte de la planta	Densidad (plantas/m ²)	Fecha de muestreo					
		15.06.92		02.07.92		15.07.92	
		Normal	Sombreado	Normal	Sombreado	Normal	Sombreado
Hoja		**	*	ns	ns	ns	ns
	20	4,3 a	4,2 a	3,0	3,9	2,9	3,7
	40	4,1 a	4,1 a	3,1	3,7	2,5	3,4
	80	3,3 b	4,0 a	2,7	3,5	2,7	3,2
	160	3,2 b	3,7 b	2,8	3,5	2,4	3,4
Bulbo		**	ns	**	ns	**	ns
	20	3,4 a	4,1	3,6 a	3,2	2,4 a	2,5
	40	3,0 a	4,0	3,0 b	3,4	2,5 a	2,7
	80	2,1 b	3,8	2,8 b	2,7	1,5 b	2,6
	160	2,0 b	3,6	2,7 b	3,2	1,7 b	2,9

ns = no significativo

* = significativo a nivel 5%

** = significativo a nivel 1%

(1) Media de tres repeticiones. Las medias con distinta letra son significativamente distintas según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0,05$).

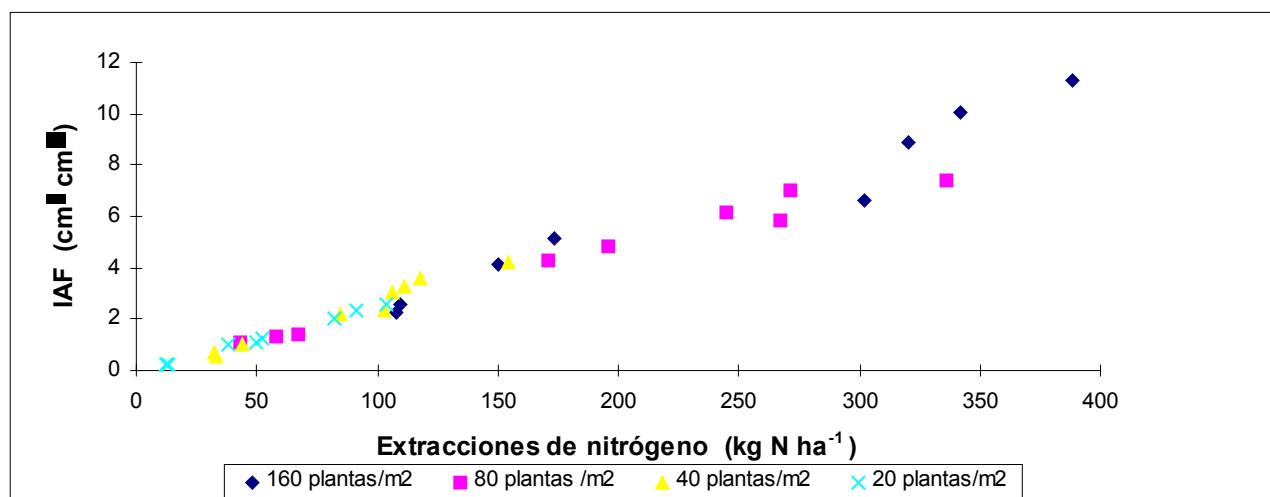


Figura 6.32. Relación entre las extracciones de nitrógeno y el índice de área foliar (IAF) para distintas densidades.

La relación entre IAF y las extracciones de nitrógeno es lineal al considerar todas las densidades (cuadro 6.47). No existen diferencias en la relación según la densidad, aunque dado el reducido número de observaciones no se pueden generalizar los resultados.

Cuadro 6.47. Extracciones de nitrógeno (Next, kg N ha⁻¹) en relación al IAF (cm² cm⁻²)⁽¹⁾.

Ecuación ⁽¹⁾	R ² (g.l. residuales)	b (e.s.)
IAF = b * Next	0,97 (34)	0,026 (0,0005)

(1) En la ecuación se impone la restricción de que pase por el origen (0,0).

La formación de una unidad de IAF (cm² cm⁻²) requiere en las condiciones y período de muestreo de este ensayo una extracción media de 3,86 g N m⁻².

6.4.4.2. Experimento con varios niveles de fertilización nitrogenada en distintas densidades. (Experimento 6.3).



Los valores medios del contenido de nitrógeno en forma nítrica en los muestreos realizados y para distintas profundidades se presentan en las figuras 6.33, 6.34 y 6.35.

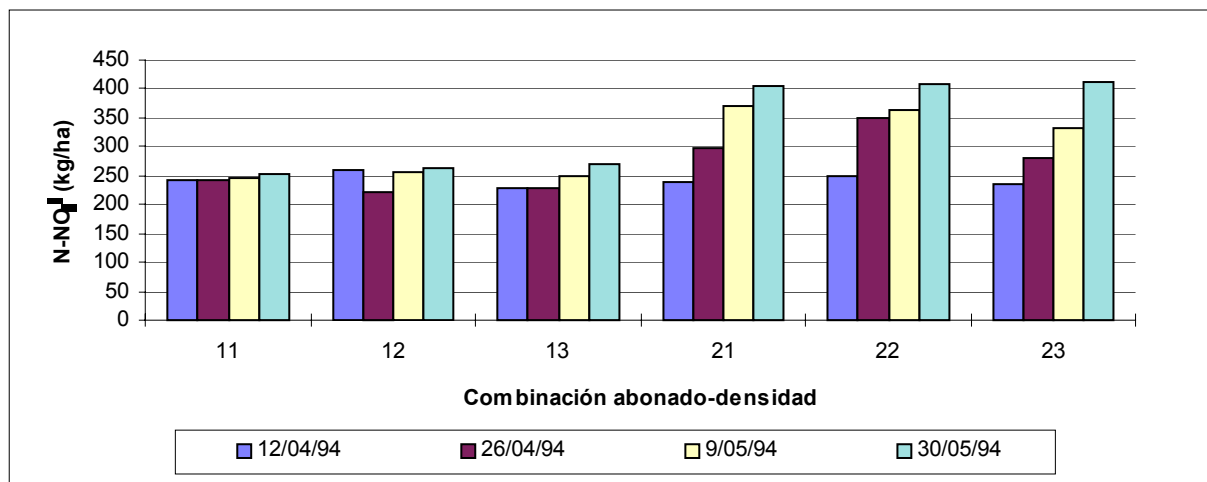


Figura 6.33. Evolución del contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo de 0 a 40 cm para las diferentes fechas de muestreo. En la combinación abonado-densidad presentada en abcisas, los valores de las unidades corresponden a la densidad (1, 30 plantas m⁻²; 2, 60 plantas m⁻²; 3, 90 plantas m⁻²) y los valores de las decenas al abonado (1, 240 kg N/ha; 2, 420 kg N/ha).

La disponibilidad de nitrógeno en el período de aplicación del abonado suplementario es elevada en todas las combinaciones abonado - densidad.

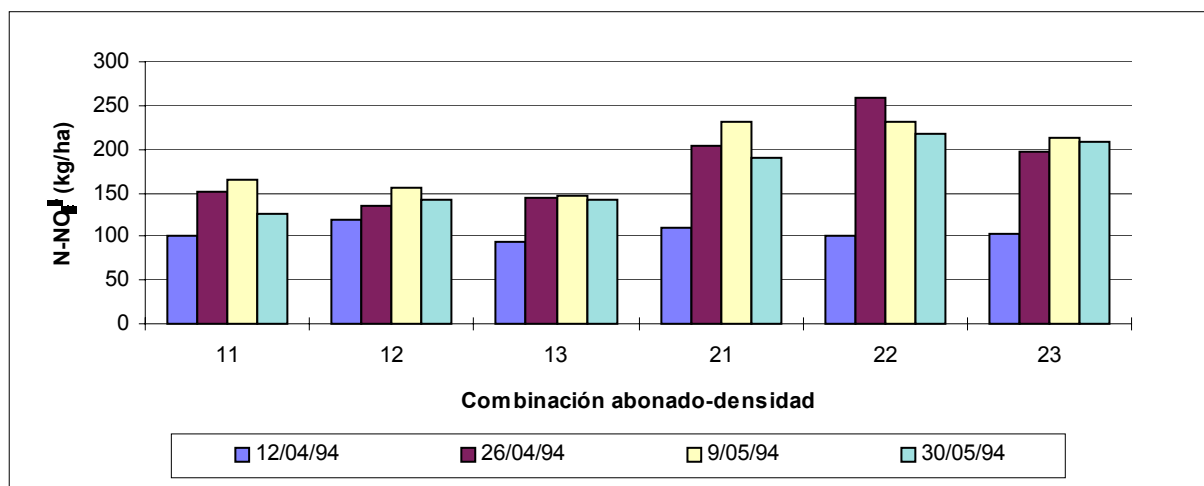


Figura 6.34. Evolución del contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo de 0 a 20 cm para las diferentes fechas de muestreo. En la combinación abonado-densidad presentada en abcisas, los valores de las unidades corresponden a la densidad (1, 30 plantas m⁻²; 2, 60 plantas m⁻²; 3, 90 plantas m⁻²) y los valores de las decenas al abonado (1, 240 kg N/ha; 2, 420 kg N/ha).

Se observa que el contenido de nitrógeno en forma nítrica es también elevado en los primeros 20 cm en donde se concentra la mayor densidad de longitud radicular (capítulo 3). Estos elevados contenidos de nitratos en el abonado

incrementado, superiores a 150 kg N-NO₃⁻ /ha en los primeros 20 cm entre los muestreos de 9 y 30 de mayo, explicarían el menor peso seco de las plantas para este tratamiento en relación al abonado de 240 kg N/ha en el muestreo de 25 de mayo (cuadro 6.20). Greenwood *et al.* (1992) encontraron que cantidades de N no superiores a 150 kg N ha⁻¹ incorporadas en una aplicación, disminuían el establecimiento inicial de cebollas procedentes de bulbillos, aunque los efectos adversos iniciales eran posteriormente compensados al finalizar el ciclo por la mayor facilidad que posteriormente tenía el cultivo para satisfacer sus necesidades de nitrógeno.

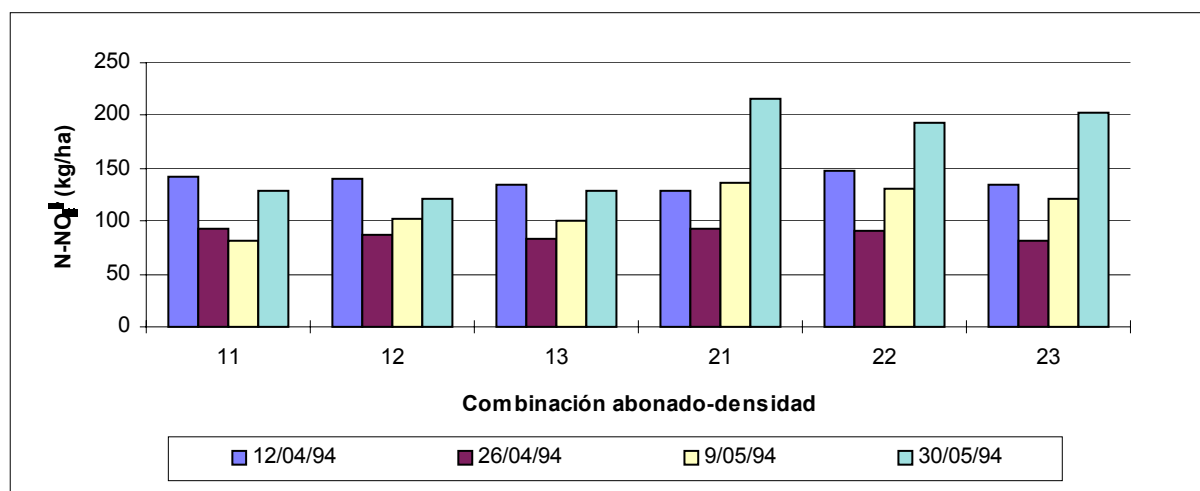


Figura 6.35. Evolución del contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo de 20 - 40 cm para las diferentes fechas de muestreo. En la combinación abonado-densidad presentada en abcisas, los valores de las unidades corresponden a la densidad (1, 30 plantas m⁻²; 2, 60 plantas m⁻²; 3, 90 plantas m⁻²) y los valores de las decenas al abonado (1, 240 kg N/ha; 2, 420 kg N/ha).

Los contenidos en nitrógeno total en hojas y bulbos en relación al factor densidad se presentan en el cuadro 6.48. No se encontraron diferencias significativas asociadas al factor abonado nitrogenado (cuadro 6.49) ni tampoco existieron interacciones significativas entre los factores estudiados.

Cuadro 6.48. Valores medios ⁽¹⁾ del contenido de nitrógeno (% p/p) en hojas y bulbos a lo largo del ciclo del cultivo en relación a la variable densidad. Año 1994.

Parte de la planta	Densidad (plantas/m ²)	Fecha de muestreo									
		07.05	14.05	25.05	04.06	08.06	16.06	22.06	01.07	15.07	27.07
Hoja		ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	-
	30	3,9	4,1	4,2	3,7 a	3,5 a	3,0	3,0	2,4	2,3	-

	60	3,9	4,1	4,1	3,7 a	3,5 a	2,8	2,8	2,4	1,9	-
	90	3,9	4,1	4,2	3,2 b	3,2 b	2,9	2,9	2,3	1,8	-
Bulbo		ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
	30	3,9	4,0	4,6	3,2 a	3,1	1,7 a	1,6	1,4	1,4	1,7
	60	3,9	4,0	4,6	2,9 a b	3,0	1,6 a	1,5	1,5	1,4	1,7
	90	3,9	4,0	4,3	2,5 b	2,4	1,3 b	1,4	1,4	1,5	1,7

ns = no significativo

* = significativo a nivel 5%

** = significativo a nivel 1%

(1) Media de tres repeticiones. Los valores medios con letras diferentes corresponden a los valores estadísticamente distintos según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha < 0,05$).

En los contenidos de nitrógeno en hojas y bulbos nunca se observan diferencias significativas entre las densidades de 60 y 30 plantas/m² aunque sí entre estas densidades y 90 plantas/m² en muestreos del mes de junio, correspondiente al periodo máximo crecimiento herbáceo.

Cuadro 6.49. Valores medios ⁽¹⁾ del contenido de nitrógeno (% p/p) en hojas y bulbos a lo largo del ciclo de cultivo en relación a la variable abonado nitrogenado. Año 1994.

Parte de la planta	Abonado (kg N/ha)	Fecha de muestreo									
		07.05	14.05	25.05	04.06	08.06	16.06	22.06	01.07	15.07	27.07
Hoja		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	---
	240	3,7	4,1	4,1	3,5	3,4	2,9	2,9	2,5	1,9	---
	420	4,1	4,1	4,2	3,6	3,5	3,0	2,9	2,3	2,1	---
Bulbo		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	240	3,7	4,0	4,6	2,8	2,7	1,5	1,5	1,3	1,4	1,7
	420	4,1	4,0	4,4	3,0	3,0	1,6	1,6	1,5	1,4	1,7

ns = no significativo

(1) Media de tres repeticiones.

Las extracciones de nitrógeno del cultivo a partir del contenido de nitrógeno y del peso seco de la planta y para el factor densidad se presentan en el cuadro 6.50.

Cuadro 6.50. Valores medios del contenido de nitrógeno (kg/ha) total y fraccionado en la planta a lo largo del ciclo del cultivo en relación a la variable densidad. Año 1994.

Parte de la planta	Densidad (plantas/m ²)	Fecha de muestreo									
		07.05	14.05	25.05	04.06	08.06	16.06	22.06	01.07	15.07	27.07
Hoja	30	0,65	1,88	6,36	22,05	29,88	42,72	48,98	40,10	33,03	-
	60	1,53	3,93	12,25	46,04	49,69	77,73	81,63	54,44	39,46	-
	90	2,26	6,01	18,22	50,60	68,21	70,30	100,17	70,58	45,64	-

Bulbo	30	0,24	0,60	2,82	6,42	11,19	18,20	28,93	45,43	74,37	95,47
	60	0,54	1,22	5,31	12,43	19,68	29,51	42,87	65,88	99,73	148,69
	90	0,80	1,90	6,91	15,37	23,88	29,52	47,30	80,01	130,22	182,70
Total	30	0,88	2,48	9,18	28,47	41,08	60,93	77,91	85,53	107,40	95,47
	60	2,07	5,15	17,57	58,48	69,36	107,24	124,50	120,32	139,20	148,69
	90	3,07	7,91	25,14	65,97	92,08	99,82	147,47	150,59	175,86	182,70

Se observa una disminución del contenido de nitrógeno en hoja tras el inicio de la bulbificación a partir del 22 de junio, fecha en que se alcanzan los mayores valores en contenido de nitrógeno en hoja en relación a la superficie ocupada. El contenido de nitrógeno en los bulbos (cuadro 6.50) se incrementa a lo largo del ciclo del cultivo, así como los contenidos totales en la planta.

La situación más desfavorable en cuanto a contenido de nitrógeno en el suelo es la del abonado nitrogenado a dosis de 240 kg N/ha y para una densidad de 90 plantas/m². En estas parcelas, el 30 mayo, veinte días antes del inicio de la bulbificación (figura 6.24) el contenido de nitrógeno en forma nítrica en el suelo es de 271 kg N/ha.

Los aportes de nitrógeno posteriores y hasta recolección fueron de 134 kg N/ha. El nitrógeno se aplicó mediante fertirrigación. Las extracciones a partir del 4 de junio y hasta recolección para estas mismas parcelas fueron de 117 kg N/ha. Sin considerar la mineralización de la materia orgánica y en condiciones de lixiviación limitadas (apartado 4.3), el balance anterior indicaría que hubo plena disponibilidad de nitrógeno para la planta, en todas las combinaciones densidad-abonado.

La relación entre las extracciones del cultivo y el índice de área foliar hasta que éste alcanza su valor máximo (22.06.94, en la densidad de 90 plantas m⁻², en algunas parcelas el 16.06.94) es lineal (figura 6.36), independiente de la dosis de abonado nitrogenado pero significativamente distinta ($P < 0,05$) entre densidades (cuadro 6.51).

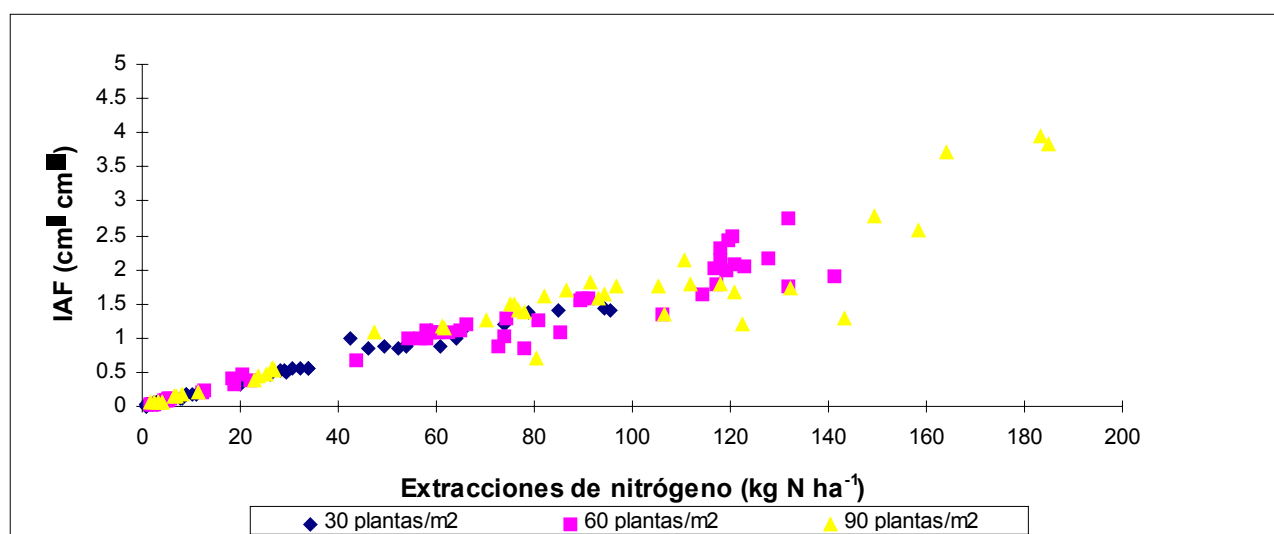


Figura 6.36. Relación entre las extracciones de nitrógeno y el índice de área foliar (IAF) para distintas densidades.

La pendiente de la relación anterior (cuadro 6.51) es significativamente más alta al incrementarse la densidad.

Cuadro 6.51. Extracciones de nitrógeno (Next, kg N ha⁻¹) en relación al IAF (cm² cm⁻²).

Ecuación ⁽¹⁾	Densidad (plantas m ⁻²)	R ² (g.l. residuales)	b (e.s.)
IAF = b * Next	30	0,98 (41)	0,016 (0,0002)
	60	0,98 (40)	0,018 (0,0002)
	90	0,98 (36)	0,019 (0,0003)

(1) En la ecuación se impone la restricción de que pase por el origen (0,0).

En este experimento la formación de una unidad de IAF (cm² cm⁻²) ha requerido una extracción media de 6,05 , 5,48 y 5,13 gN m⁻² para las densidades de 30, 60 y 90 plantas m⁻² respectivamente, valores superiores a los obtenidos en el experimento 6.41 (cuadro 6.47).

6.4.5. Evaluación de la práctica de riego

La evaluación de la práctica de riego se realizó en 1992 (experimentos 6.1.1 y 6.2) y en 1994 (experimento 6.3).

6.4.5.1. Experimento bajo un amplio intervalo de densidades y para dos niveles de radiación incidente . Estudio paralelo de la influencia de la época de siembra. (Experimentos 6.1.1 y 6.2.)

Los valores de la cantidad de agua aplicada mediante riego más la precipitación y los valores de la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculados según Penman-FAO se presentan en las figuras 6.37 y 6.38 respectivamente.

El agua aplicada mediante riego para llevar el contenido de agua en el suelo equivalente a capacidad de campo, tras los 202 mm iniciales, fue de 4140 m³ ha⁻¹ en el experimento 6.1.1 y primera fecha de siembra del experimento 6.2. No se considera la siembra de abril y de mayo del experimento 6.2 ya que las parcelas se regaban todas simultáneamente.

Dada la alta frecuencia de riego y las lluvias, la ET_o sería similar a la evaporación desde la superficie en los estados iniciales para estas siembras tardías. La precipitación durante el mismo período de cultivo fue de 2600 m³ ha⁻¹ en el primer caso y de 2840 m³ ha⁻¹ en el segundo, ya que el experimento 6.2 se recolectó ocho días más tarde.

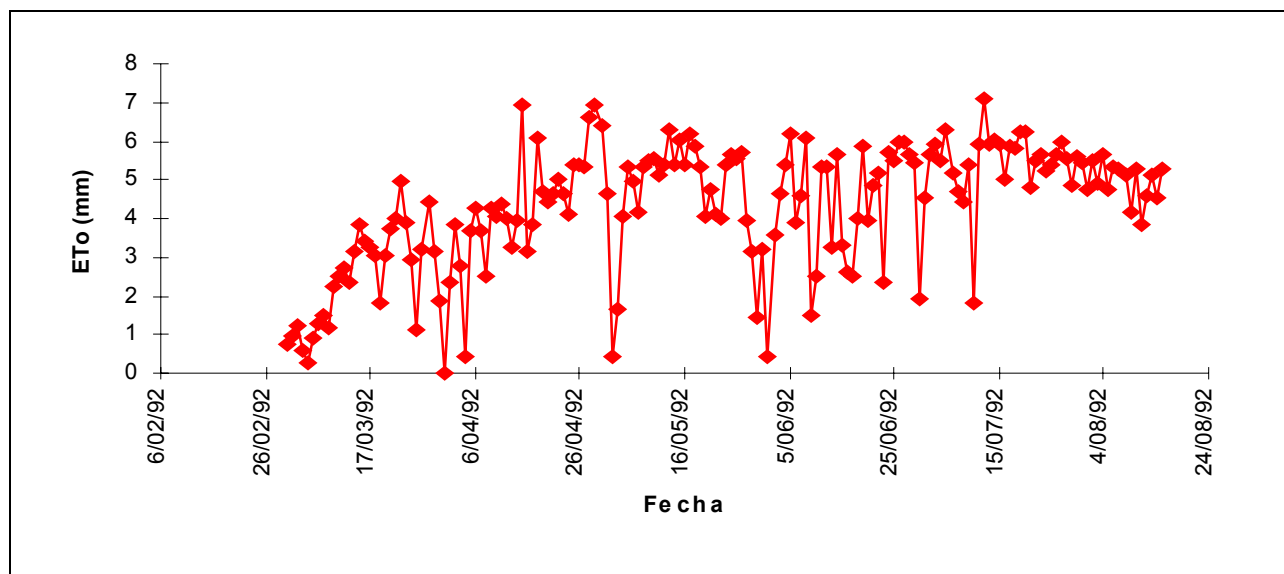


Figura 6.37. Valores de evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) a lo largo del ciclo de cultivo.

La relación entre el agua aportada mediante el riego (excluyendo la del mes de marzo) más la precipitación y las producciones (cuadro 6.52) indican una alta eficiencia para este cultivo en la utilización del agua a altas densidades que se incrementa al considerar volúmenes netos de agua aplicados mediante riego (fracción de lavado = 10 %).

Cuadro 6.52. Relación (kg m^{-3}) entre la producción (peso fresco de bulbo) y el agua aportada mediante riego⁽¹⁾ más la precipitación para los distintos experimentos de 1992.

Experimento	6.1.1				6.2
Variable	Densidad (plantas m^{-2})				Fecha de siembra
	20	40	80	160	04.03.92
Producción/volumen de agua total	9,21	14,84	24,89	29,53	19,77
Producción/volumen de agua neto⁽²⁾	10,43	16,81	28,18	33,44	21,45

(1) No se incluyen los 202 mm iniciales de marzo.

(2) Fracción de lavado = 10%.

El coeficiente (k_e) de evaluación (cuadro 6.53) de la cantidad de agua aportada durante el período inicial es bajo en condiciones de riego de alta frecuencia (Doorenbos y Pruitt, 1977). Ello es debido a que existieron problemas técnicos en el riego durante este período y no se pudo regar hasta 20 días después de la siembra. En la etapa de mediados de período y bulbificación son similares a los propuestos por Doorenbos y Kassam (1979).

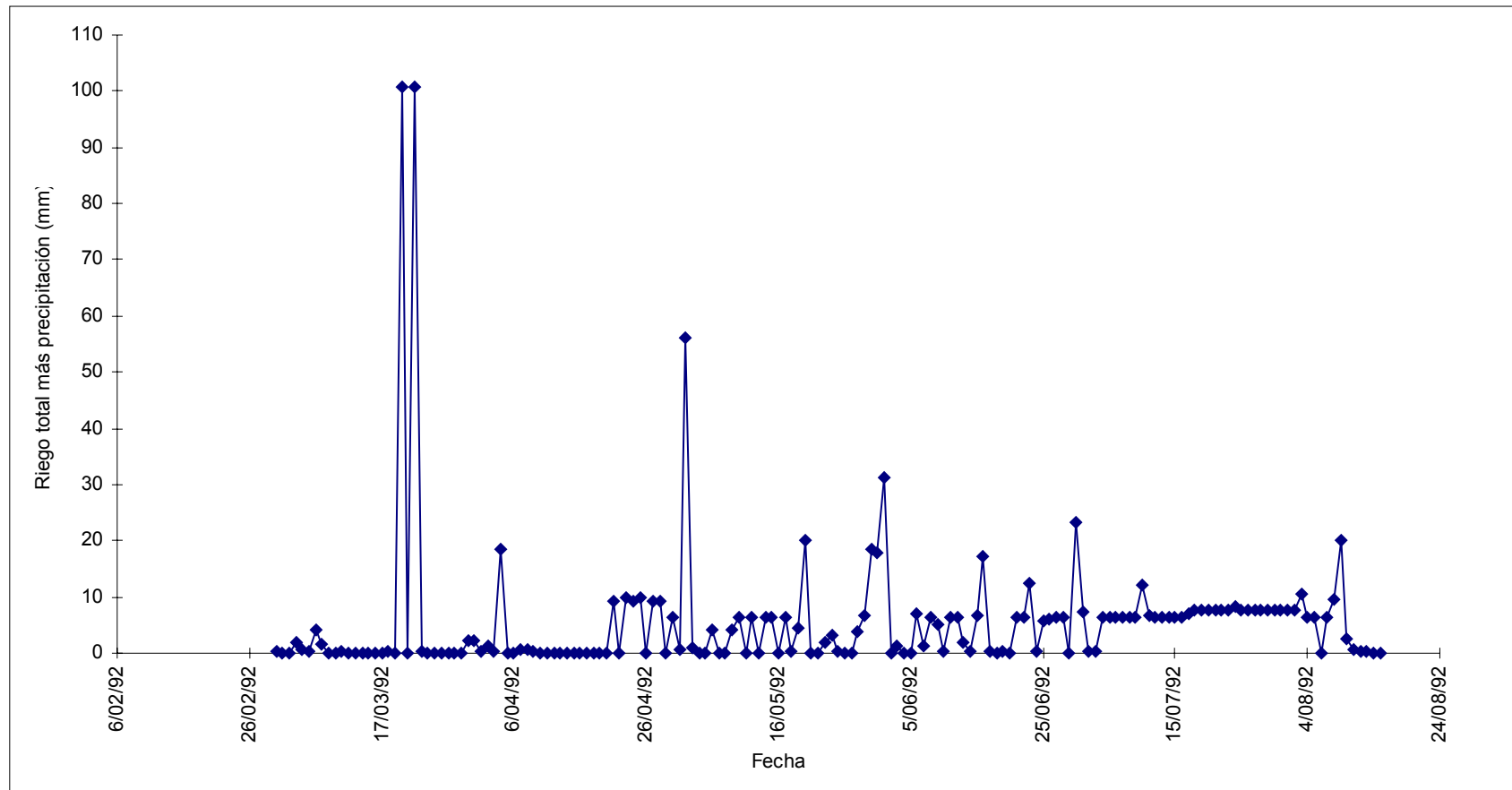


Figura 6.38. Valores de riego total más precipitación a lo largo del ciclo de cultivo.

Cuadro 6.53. Relación (Ke) del agua aportada (volumen neto de agua aportada mediante riego más precipitación)⁽¹⁾ respecto a las necesidades hídricas teóricas del cultivo de referencia (ETo) a lo largo del ciclo de la cebolla. Experimento 6.1.1 y 6.2.

Período	ke (mm / mm)
1.- Siembra - tercera hoja emergida (15.05.92)	0,66
2.- Tercera hoja emergida - inicio del crecimiento exponencial herbáceo (31.05.92)	1,11
3.- Inicio del crecimiento exponencial herbáceo - engrosamiento del bulbo (01.07.92)	0,97
4.- Engrosamiento del bulbo - madurez (28.07.92)	1,10
5.- Madurez - recolección (04.08.92). Experimento 6.1.1	1,28
Madurez - recolección (12.08.92). Experimento 6.2	1,32

(1) El valor de ke en el período madurez - recolección es elevado debido a que se recolectó antes del secado de las hojas.

6.4.5.2. Experimento con varios niveles de fertilización nitrogenada en distintas densidades. (Experimento 6.3).

Los valores de la cantidad de agua procedente de riego más la procedente de la precipitación y los valores de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculados según Penman-FAO, se presentan en la figura 6.39.

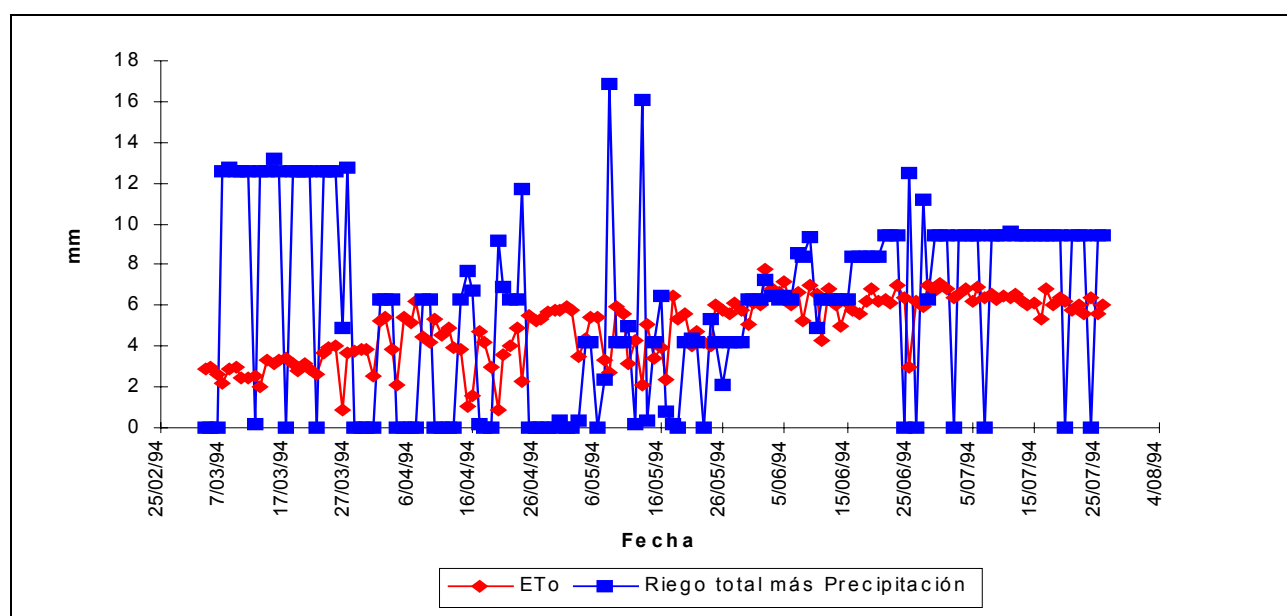


Figura 6.39. Valores de ETo y de riego total más precipitación a lo largo del ciclo del cultivo.

La siembra se realizó sobre suelo seco por lo que durante el mes de marzo el agua aportada fue muy superior a las necesidades del cultivo. El volumen neto de agua aplicada mediante riego, (se omite la cantidad inicial aplicada para

llevar el contenido de agua en el suelo equivalente a capacidad de campo), fue de 6796 m³ ha⁻¹. Considerando que el agua consumida por el cultivo fue 6796 m³ ha⁻¹ más la precipitación (687 m³ ha⁻¹), la producción (peso fresco del bulbo) en relación al agua consumida ha sido de 7,97 , 12,32 y 14,42 kg m⁻³ para la densidad de 30,60 y 90 plantas m⁻² respectivamente. Los valores del coeficiente de evaluación (ke), en distintas fases del desarrollo, exceptuando el primer período en que si que coinciden con Doorenbos y Pruitt (1977), serían semejantes a los de los experimentos anteriores 6.1.1 y 6.2. y también concordarían con estudios realizados en Francia para el cultivar Hyper (Guerber-Cahuzac, 1992) excepto para el período madurez - recolección en donde para el experimento citado se adopta un valor de $k_c = 0,7$.

Cuadro 6.54. Relación (ke) del agua aportada (volumen neto de agua aportada mediante riego más precipitación)⁽¹⁾ respecto a las necesidades hídricas teóricas del cultivo de referencia (ET_o) a lo largo del ciclo de la cebolla.

Período	ke (mm/mm)
1.- Siembra - Tercera hoja emergida (06.05.94)	0,96
2.- Tercera hoja emergida - Inicio del crecimiento exponencial herbáceo (25.05.94)	1,07
3.- Inicio del crecimiento exponencial herbáceo - Engrosamiento del bulbo (22.06.94)	1,00
4.- Engrosamiento del bulbo - Madurez (15.07.94)	1,12
5.- Madurez - Recolección (27.07.94)	1,05

(1) No se incluyen los aportes iniciales para llevar el contenido de agua en el suelo a capacidad de campo.

En el período de madurez a recolección, al igual que en los otros experimentos, el valor de ke podría haber disminuido si se hubiese retrasado la recolección hasta secado total de hojas. A lo largo de todo su ciclo de cultivo, la cebolla presenta unas elevadas necesidades hídricas, especialmente en el período de inicio de bulbificación a madurez, período que su vez coincide con uno de los estadios más sensibles al déficit hídrico (Lis *et al.*, 1967; Chung ,1989).

La similitud en los valores de ke en los diferentes años del experimento, indica que el control de la salinidad del agua de riego mediante la fracción de lavado también fue similar en 1992 y 1994, aunque el menor crecimiento foliar en 1994 podría ir ligado a una salinidad provocada por la fertilización, aspecto que no ha sido evaluado.