

CAPÍTULO QUINTO

MEJORA DE LAS TÉCNICAS DE CULTIVO: INYECCIÓN DE FERTILIZANTE BAJO SEMILLA

CAPÍTULO QUINTO

5. MEJORA DE LAS TÉCNICAS DE CULTIVO: INYECCIÓN DE FERTILIZANTE BAJO SEMILLA

5.1. INTRODUCCIÓN

En cereales, la aplicación de nitrógeno y fósforo conjuntamente de forma subsuperficial y en bandas es un método eficaz de fertilización (Leikam *et al.*, 1983; Raun, Sander y Olson, 1987). La aplicación del fósforo en bandas, conjuntamente con nitrógeno en forma amoniacal, permite mantener el fósforo disponible durante un período de tiempo más largo (Anghinoni y Barber, 1980; Hanson y Westfall, 1985) ya que se minimiza el contacto con las partículas del suelo y los compuestos que favorecen la reacción ácida incrementan la efectividad del fertilizante fosforado. Los fertilizantes amoniacales también favorecen la absorción de fósforo por las plantas al disminuir el pH en la interfase suelo-raíz debido a la absorción de amonio (Riley y Barber, 1971; Soon y Miller, 1977). En relación al nitrógeno, la aplicación subsuperficial presenta otra ventaja adicional al ser una medida eficaz para el control de la contaminación de las aguas superficiales (Mostaghimi, Younos y Tim, 1991).

En cebolla, los planes de fertilización de macronutrientes, incluyendo las recomendaciones más recientes (Moreau, Le Bohec y Guerber-Cauzac, 1996), preconizan una aplicación de fondo de fósforo (en forma de superfosfato) y potasio (en forma de sulfato) y aplicaciones fraccionadas (de cuatro a seis) de nitrógeno (en forma mixta nítrico-amoniacal), a lo largo del ciclo del cultivo, preferentemente antes de la formación de bulbos. En relación con los micronutrientes, se recomienda analizar las causas que provocan la carencia (carencia verdadera o inducida por las condiciones edáficas), pudiendo aportar el micronutriente mediante aplicaciones directas al suelo o por vía foliar.

Frente a estas recomendaciones generales, se conoce por estudios realizados en lechuga (Costigan, Loscascio y McBurney, 1981; Costigan, 1984; Costigan y Heaviside, 1985; Sanchez, Swanson y Porter, 1990; Stone y Rowse, 1992) y en cebolla (Costigan, 1988; Stone y Rowse, 1992), que la inyección de fertilizante líquido fosfo-amoniacal bajo semilla o la localización en bandas, 5 cm por debajo y lateralmente también en cebolla (Hendriksen, 1987) provoca un mayor crecimiento de las plántulas, aunque puede disminuir los rendimientos si a consecuencia de la aplicación se reduce el número de plantas emergidas. Este mayor crecimiento se explica porque, con la inyección de fertilizante, los nutrientes se aplican más cerca de las raíces de las plántulas que necesitan un flujo de nutrientes por unidad de longitud radicular mayor que las plantas que presentan un sistema radicular ya más desarrollado. El efecto de la localización del fertilizante en los rendimientos también va ligado a la duración del ciclo del cultivo, siendo más evidente en hortalizas de ciclo corto (p.e. algunos cultivares de nabo) que en cultivares o variedades de cultivos (col, maíz dulce) con un ciclo

más largo (Parish, Bracy y Morris, 1997). Los niveles de fertilidad inicial del suelo también influyen en los beneficios esperados de esta técnica en hortícolas. Stone (1998) indica que las ventajas se reducen con niveles superiores a $80 \mu\text{g g}^{-1}$ de P extraído con NaHCO_3 o superiores a $300 \mu\text{g g}^{-1}$ de K intercambiable $-\text{NH}_4\text{NO}_3$.

No obstante, en condiciones en que la disponibilidad de agua para el cultivo sea un condicionante grande y en las que la difusión del fósforo en el suelo se vea reducida, el interés de esta técnica puede ser doble. Una mayor concentración de nutrientes alrededor de las raíces puede facilitar su absorción, y a su vez, un mayor crecimiento inicial de la planta irá ligado a un mayor crecimiento de las raíces (Greenwood *et al.*, 1982) y será mayor el volumen de suelo explorado por las mismas, en la fase de crecimiento inicial.

En condiciones en que la disponibilidad de agua no sea un condicionante importante, pero que, por temperatura o longitud del día existan dificultades en alcanzar la plena madurez del bulbo, cualquier práctica de cultivo que favorezca un rápido crecimiento foliar y un mayor índice de área foliar promoverá una madurez más temprana (Brewster, 1990a), facilitando una pronta recolección que, normalmente, irá asociada a períodos del año con unas condiciones de temperatura más cálidas. Los beneficios de la inyección del fertilizante pueden potenciarse con la reducción del período de emergencia que podría lograrse con la utilización de semilla pre-acondicionada.

La inyección mediante cuchilla de pequeñas cantidades de fertilizante líquido cerca de la semilla debe hacerse perturbando lo menos posible el lecho de siembra, ya que la modificación de la conductividad hidráulica del suelo alrededor de la semilla dificulta el movimiento del agua del suelo hacia la semilla (Hakansson y Polgar, 1984). La mejora de la técnica de fertilización también requiere una adaptación de la maquinaria de siembra convencional

5.2. OBJETIVOS

- Determinar si la inyección de fertilizante líquido fosfo-amoniaco en siembra mejora los rendimientos de bulbos en la recolección e identificar condicionantes edafo-climáticos en su aplicación.
- Evaluar si otras técnicas de cultivo como el uso de semilla preacondicionada y la fecha de siembra potencian los efectos de la inyección del fertilizante.

5.3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en relación a la inyección de fertilizante nitrógeno-fosforado bajo semilla bajo distintas condiciones edafo-climáticas, de técnicas de producción y de manejo de agua de riego. Destacar que el primero se planteó bajo un sistema de riego por aspersión y a la demanda (experimento 5.1) y el segundo bajo un sistema de riego infrecuente por escorrentía y por turnos (experimento 5.2). Cada uno de los experimentos se subdividió en dos experimentos complementarios .

5.3.1. Inyección de fertilizante en condiciones de riego por aspersión y a la demanda. (Experimento 5.1)

El experimento 5.1 se realizó en 1989 en el centro de investigación Horticultural Research International de Wellesbourne - Reino Unido-. Las coordenadas geográficas son 52° 12' N, 1° 3' O y altitud 90 m.

El suelo de las parcelas experimentales era un Udifluent típico, franco grueso, mezclado, méxico correspondiente a la serie Wick (Whitfield, 1974). Algunas de las propiedades edáficas se resumen en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Propiedades edáficas de las parcelas experimentales. Horticultural Research International. Wellesbourne

Profundidad (cm)	Agua retenida (%)		Textura (USDA)
	-33 kPa	-1500 kPa	
0 - 15	15,4	7,6	F Ar
15 - 25	14,6	7,6	F Ar
25 - 45	14,7	7,0	F Ar
45 - 65	18,2	10,0	F Ac Ar
65 - 85	16,2	8,7	F Ar

Los valores de pH (1: 2,5), de potasio y fósforo apenas variaban a lo largo del perfil, los valores medios eran 6; 61ppm y 7 ppm respectivamente. Es un suelo ligeramente ácido, con niveles muy bajos de potasio y bajos en fósforo en relación al cultivo de la cebolla (López, 1985).

El ensayo se repitió dos veces para una primera siembra realizada el 8 de marzo (experimento 5.1.1) y para una segunda siembra realizada el 19 de mayo (experimento 5.1.2) por lo que la descripción de los materiales y metodología empleados es válida para ambas siembras. Únicamente se especifican para cada experimento aspectos puntuales y diferenciales ligados al ciclo del cultivo. Los tratamientos fueron combinaciones factoriales de dos niveles de fertilizante inyectado bajo semilla (con o sin fertilizante), dos tipos de semilla del cultivar Hyton (semilla comercial y semilla pre-acondicionada) y seis densidades. La combinación de estos tratamientos se dispuso en un diseño en bloques al azar con dos repeticiones. La longitud de cada parcela elemental era 10 m y su anchura 2 m. El lecho de siembra era de 1.2 m. La fotografía 5.1 muestra una visión general de las parcelas experimentales.



Fotografía 5.1. Visión general de las parcelas correspondientes a las dos épocas de siembra y para las combinaciones factoriales de fertilización, tratamiento de semilla y densidades en Wellesbourne (Reino Unido).

El tratamiento correspondiente al fertilizante consistió en la inyección de una solución 8-24-0 de fosfato amónico a una dosis de 13 ml m^{-1} en cada hilera del lecho de siembra, inyectada 20 mm bajo la semilla en el momento de la siembra. Este tratamiento suministraba $4,16 \text{ g de N - NH}_4^+$ y $5,45 \text{ g de P m}^{-1}$ y equivalía a $27,4 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y $35,9 \text{ kg P ha}^{-1}$ ($82,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$).

El equipo de inyección utilizado fue una adaptación del descrito por Rowse *et al.* (1988); se sustituyó la cuchilla de inyección de 3,5 mm de ancho, por otra más estrecha de 3,0 mm de ancho y se trasladó de la parte posterior a la frontal de la rueda anterior a la unidad de siembra.

El tratamiento correspondiente a la semilla pre-acondicionada consistió en la aplicación de la técnica de Rowse (1996). Las semillas se sembraron en líneas, cuatro líneas en cada lecho de siembra, separadas 30 cm y utilizando una sembradora de precisión. Las dosis de siembra fueron 15, 23, 28, 34, 44 y 52 semillas por metro lineal.

Antes de la primera siembra y de la segunda, se aplicó herbicida, se cultivó y se ruló. Posteriormente a la siembra y durante el período de emergencia se regaba superficialmente mediante aspersion para evitar la formación de costra.

El 10 de marzo se muestreaban los primeros 5 cm del suelo y se obtuvo 2 muestras compuestas correspondientes cada una de ellas a una repetición. En la pasta saturada de las muestras de suelo se analizaron los contenidos de fósforo y potasio (Bower y Wilcox, 1965).

El abonado de fondo se había realizado el 17 de agosto cuando se cultivaron las parcelas experimentales incorporándose 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y de K₂O. El abonado y el riego posteriores se planificaron utilizando un modelo experimental de respuesta al abonado de Greenwood y Draycott (1989) de forma que el crecimiento del cultivo no se viese condicionado por la disponibilidad de agua o nitrógeno. En las parcelas del experimento 5.1.1. se abonó los días 13 de marzo, 3 de mayo, 21 de junio y 4 de julio. En las parcelas del experimento 5.1.2. se abonó los días 15 de mayo, 4 de julio y 25 de julio. Se aplicó siempre la misma dosis de nitrógeno 60 kg N ha⁻¹. El experimento 5.1.1. se regó seis veces y el experimento 5.1.2. cuatro veces. La dosis de riego fue 20 mm.

No se realizaron tratamientos fitosanitarios exceptuando la aplicación de herbicida en pre-emergencia. Los productos comerciales empleados como herbicida fueron Ramrod (materia activa propaclaro 65 %) a dosis de 9 L/ha y Stomp 33 E (materia activa pedimentalina 33 %) a dosis de 6 L/ha .

La emergencia de las plántulas se controló 3 días por semana. Los conteos se realizaron en las dos hileras centrales de cada parcela en una longitud calculada previamente de forma que el número de plántulas emergidas fuese cien. Se muestrearon 8 plantas de cada parcela. Los muestreos se realizaron en el experimento 5.1.1. el 2 de mayo, 24 de mayo, 14 de junio y 3 de julio y en el experimento 5.1.2. el 4 de julio y el 31 de julio. Las plantas procedían de las dos hileras centrales empezando en un extremo de la parcela. Cada muestreo se realizaba dejando dos plantas a partir del final del muestreo anterior para evitar el efecto borde. En el material muestreado se midió el diámetro máximo de bulbo y el mínimo del pseudotallo. Las plántulas se fraccionaron en filodios y vaina envolvente (bulbo) y en cada fracción se determinó el peso fresco y seco. En el material seco se determinaron los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio.

En cada parcela se fijó una longitud determinada en donde no se realizaron muestreos destructivos y en donde se medía la radiación fotosintéticamente activa (RFA) no interceptada y transmitida por la cubierta vegetal. Las medidas se realizaron con un ceptómetro (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, USA) situado bajo la cubierta vegetal y un sensor de PAR (Delta - T Devices Ltd, Burwell, Cambridge, UK) situado encima de la cubierta vegetal. Las mediciones se realizaron en el experimento 5.1.1. los días 13 y 26 de junio y el 11 de julio y en el experimento 5.1.2. se realizaron el 19 de julio y el 9 de agosto.

La fecha de madurez se determinó cuando en el 80% de las plantas el pseudotallo presentaba flacidez. Para concretar la fecha de madurez en las hileras donde se realizaron los conteos de emergencia se realizaban tactos semanales de las plantas reservadas para concretar si el pseudotallo era capaz de mantener erectas las plantas sin el apoyo de las plantas vecinas. La recolección de la totalidad de las plantas de la parcela se realizó cuatro semanas después de la madurez. Se determinó en recolección el peso fresco de los bulbos.

Para poder interpretar los efectos del fertilizante sobre el crecimiento y madurez de las plantas y para que no se confundieran con posibles efectos que el tratamiento de inyección pudiese tener sobre el número de plantas, se utilizó un amplio abanico de densidades primando este factor sobre el número de repeticiones. A su vez, en el análisis estadístico, debido a la gran influencia de la densidad en el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada y en la producción, el efecto del fertilizante se analizó mediante análisis de covarianza considerando el efecto de la densidad de plantas.

5.3.2. Inyección de fertilizante en condiciones de riego por escorrentía y por turnos. (Experimento 5.2)

El experimento 5.2 se realizó durante los años 1990 (experimento 5.2.1) y 1991 (experimento 5.2.2) en una finca del término municipal de Sidamon (Lleida), en áreas contiguas. En 1990 se incorporó el factor época de siembra (enero y febrero). En 1991 se realizó una única siembra en enero. Las coordenadas geográficas del área donde se realizó el ensayo son 41° 37' N, 0° 48' E y altitud 210 m. En 1989 la parcela se había mantenido en barbecho.

El suelo de las parcelas experimentales era un Torriorthent xérico, franca, mezclada (calcárea), mésica, superficial (SSS, 1975, 1990) perteneciente a la serie Pelagalls (Herrero *et al.*, 1993). La profundidad enraizable era de 41 cm.

Las propiedades edáficas de la finca se resumen en el cuadro 5.2. El pH es moderadamente básico por tratarse de un suelo poco calcáreo, los niveles de conductividad eléctrica no son limitantes, el contenido de materia orgánica es muy bajo, los niveles de fósforo son bajos y muy bajos los de potasio en relación al cultivo de la cebolla (López, 1985). Debido a la clase textural la cantidad de agua retenida es baja.

Cuadro 5.2. Propiedades edáficas de las parcelas experimentales. Sidamon .1990.

Profundidad (cm)	pH (1:2,5)	C.E. (1:5, 25°C, dS/m)	M.O. (%)	N (%)	P (ppm. Olsen)	K (ppm. Acetato amónico)	CaCO ₃ eq. (%)	C.I.C. (meq/ 100g)	Agua retenida (kg/100kg)		Textura (USDA)
									-33 kPa	-1500 kPa	
00-21	8,2	0,27	0,9	0,05	12	41	11	8,3	11,0	5,3	FAr
21-41	8,2	0,23	0,6	-	14	18	11	6,9	10,5	5,4	ArF

Se utilizaron semillas del cultivar Staro en 1990 y del cultivar Valenciana de Grano en 1991. Se sembraron 120 semillas m⁻².

Para realizar este experimento se diseñó un equipo de inyección de fertilizante acoplándolo a una sembradora de precisión manual (Stanhay) de una sola línea. En la fotografía 5.2 se aprecia el equipo de inyección y en la fotografía 5.3 un detalle de la reja acoplada para facilitar la inyección. La reja podía desplazarse tanto por delante o detrás de la línea de siembra como lateralmente.



Fotografía 5.2. Equipo de inyección de fertilizante en sembradora de una línea.



Fotografía 5.3. Detalle de la reja inyectora.

5.3.2.1. Inyección de fertilizante en relación a la época de siembra. (Experimento 5.2.1.).

Los tratamientos fueron combinaciones factoriales de dos niveles de fertilizante inyectado bajo semilla (con o sin fertilizante) y dos épocas de siembra (30 de enero y 19 de febrero). La combinación de estos tratamientos se dispuso en un diseño en bloques al azar con tres repeticiones.

En cada época de siembra se sembraron cuatro hileras de 15 m por parcela elemental separadas 15 cm.

Las parcelas experimentales se cultivaron previamente a la siembra, incorporando 86 kg ha⁻¹ de N, 158 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 233 kg ha⁻¹ de K₂O (8 - 15 - 15 y KCl). La solución fertilizante consistió en la inyección de una solución 12:61 (N:P), presentándose el nitrógeno en forma amoniacal. La solución se aplicó 3 cm bajo semilla. La cantidad de fertilizante aportado equivalía a 36 kg.ha⁻¹ de N y 183 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Se realizaron aplicaciones posteriores de fertilizante el 6 abril, concretamente se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de N (nitrato amónico) y el 1 de junio, aplicándose 80 kg ha⁻¹ de N (nitrato amónico) y 66 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl).

A los cuarenta y cinco días desde la siembra para la primera fecha de siembra y al mes desde la siembra para la segunda fecha, se efectuaron recuentos tras la emergencia del número de plantas emergidas en doce metros lineales de tres filas de cada parcela.

Los riegos por escorrentía se efectuaron el 23 de marzo, 10 de mayo, 9 y 21 de junio, 5 y 20 de julio y 4 de agosto. Se regó de manera que el contenido de agua en el suelo alcanzase la capacidad de campo. No se dispuso de agua de riego hasta finales de marzo a pesar de que en febrero no se produjeron precipitaciones y en marzo se registraron 1,5 mm (anejo III).

En las parcelas sembradas el 19 de febrero se realizó un único muestreo previo a la bulbificación (18 de junio). Se planeó un único muestreo porque el número de plantas disponibles era reducido ya que se produjo una baja emergencia en todos los tratamientos. El muestrear justo antes de la bulbificación permitía evaluar las diferencias en el crecimiento, especialmente de los limbos. Una mayor área foliar en el momento citado, justo antes del cese de emisión de nuevas hojas, permite una mayor intercepción de la radiación y por tanto una mayor transferencia de fotosintetizados al bulbo, siendo un indicador de posibles diferencias en la producción. No obstante, otros factores limitantes especialmente el riego en este caso, pueden distorsionar los resultados. Se muestrearon treinta plantas midiéndose el peso seco fraccionado de la parte aérea, el número de hojas verdes y totales, el área foliar, el diámetro máximo del bulbo y el diámetro mínimo del pseudotallo. Tras este muestreo (18 de junio) se abandonó el experimento.

5.3.2.2. Inyección de fertilizante en siembra de enero. (Experimento 5.2.2.).

El diseño experimental fue en bloques al azar, con dos niveles de solución fertilizante en el momento de la siembra (con o sin solución fertilizante) y tres repeticiones. Las parcelas experimentales se cultivaron el 7 de enero, incorporando 74 kg ha⁻¹ de N y 138 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O (8 - 15 - 15).

El 28 de enero se sembraron cuatro hileras de 15 m por parcela elemental separadas 15 cm. Se sembraron 120 semillas.m².

La solución fertilizante consistió en la inyección de una solución 12:61 (N:P), el nitrógeno en forma amoniacal. La solución se aplicó 3 cm bajo semilla y desplazada 2 cm en la siembra. La cantidad de fertilizante aportada equivalía a 22 kg ha⁻¹ de N y 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Se realizaron aplicaciones posteriores de fertilizante el 1 de junio, concretamente 81 kg ha⁻¹ N, P₂O₅ y K₂O (15 - 15 - 15), y el 6 de junio aplicándose 212 kg ha⁻¹ N (nitrato amónico).

Se regó el 8 de mayo, 1, 18 y 26 de junio, 3, 11, 17 y 26 de julio, 2, 5 y 21 de agosto. En cada riego se alcanzó un contenido de agua en el suelo equivalente a capacidad de campo. A lo largo del ciclo del cultivo se tomaron dos muestras compuestas de las parcelas experimentales de 0 - 5 y 5 - 10 cm en los estados iniciales (hasta mediados de marzo) y posteriormente de 0 - 10 cm y de 10 - 20 cm para determinar el contenido de humedad gravimétricamente.

Se efectuaron recuentos, tres veces por semana, del número de plantas emergidas en seis metros lineales de dos filas de cada parcela.

Se muestrearon veinticuatro plantas por parcela el 23 de abril, ocho plantas por parcela el 29 de mayo, 3 de julio, 18 de julio y 7 de agosto. La recolección de 90 bulbos en cada parcela se realizó el 23 de agosto. En las plantas muestreadas se midieron los pesos secos de las plantas en el primer muestreo y los pesos secos fraccionados (del bulbo y de las hojas) en los siguientes. La madurez se determinó mediante tactos tres veces por semana de 50 plantas para conocer si el pseudotallo estaba flácido. También se midió el diámetro del bulbo y, en recolección, el peso fresco del bulbo.

5.4. RESULTADOS.

5.4.1. Inyección de fertilizante en condiciones de riego por aspersión y a la demanda. (Experimento 5.1).

Las concentraciones de P y K en el extracto de pasta saturada del suelo fueron de 105 y 305 $\mu\text{g ml}^{-1}$ respectivamente, que se corresponderían con niveles no deficitarios (MAFF, 1994).

5.4.1.1. Primera época de siembra : 8 de marzo. (Experimento 5.1.1).

En el análisis de varianza realizado para las distintas variables medidas cabe destacar:

1. En el análisis de la fecha del 50 % de emergencia sólo fué significativo el factor tratamiento de semilla ($P < 0,05$).

La fecha del 50% de emergencia de las plántulas procedentes de semillas pre-acondicionadas se produjo seis días antes que las procedentes de semillas no tratadas ($P < 0,05$).

2. En el análisis correspondiente a la variable porcentaje de emergencia existió una única interacción correspondiente a la de los factores tratamiento de semillas e inyección de fertilizante ($P < 0,05$). Como factor principal sólo fué significativa la densidad ($P < 0,001$).

En relación a la interacción en emergencia del tratamiento de semillas respecto a la inyección de fertilizante, en las parcelas en que no se inyectó fertilizante el porcentaje de emergencia fue significativamente superior ($P < 0,05$) en las parcelas con semillas pre-acondicionadas (69 %), frente a las parcelas con semillas no tratadas (60 %). En las parcelas en que se inyectó fertilizante el porcentaje de emergencia fue para ambos tipos de semilla del 62 %.

3. En todos los análisis posteriores a la emergencia no fueron significativas las interacciones del tratamiento fertilizante con el tratamiento de las semillas o la densidad, tampoco fué significativo el factor principal tratamiento de semillas.

El tratamiento inyección de fertilizante presentó diferencias significativas en algunas variables medidas a lo largo del ciclo.

En base a lo expuesto y a partir de la emergencia, únicamente se presentan en el cuadro 5.3 los resultados correspondientes a la separación de medias de las distintas variables medidas y para el tratamiento inyección de fertilizante.

La inyección de fertilizante (cuadro 5.3) produjo un incremento significativo del peso seco de las plántulas especialmente en el muestreo del 14 de junio con un incremento del 53 %. Estas diferencias no se observaron en el primer muestreo cuando las plántulas eran todavía muy pequeñas. Los contenidos de fósforo en el material vegetal de parcelas con inyección de fertilizante respecto a las no tratadas fueron significativamente superiores en todos los muestreos y los contenidos de potasio significativamente inferiores. Respecto a los contenidos de nitrógeno fueron superiores en los dos primeros muestreos. El porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada también fue significativamente superior en el tratamiento de inyección de fertilizante. Respecto al proceso de bulbificación, las

parcelas con inyección de fertilizante presentaban un adelanto significativo ($P < 0,001$) respecto a las no tratadas como se observa en los mayores valores de la relación de bulbificación y en el cociente del peso seco del bulbo respecto al peso seco de la hoja.

Cuadro 5.3. Efecto de la inyección de la solución de fosfato amónico bajo la semilla. Época de siembra 8 de marzo ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de muestreo		Con inyección de fertilizante ⁽²⁾	Sin inyección de fertilizante ⁽²⁾	MDS (P<0,05)
Peso seco de la plántula (g)	2.5.89	ns	0,0041	0,0043	0,0004
	24.5.89	*	0,065	0,054	0,010
	14.6.89	**	0,65	0,42	0,075
	3.7.89	**	4,93	3,78	0,58
N (%). En plántula	2.5.89	*	4,94	4,34	0,56
	24.5.89	*	4,39	4,18	0,17
	14.6.89 (hojas)	ns	4,29	4,35	0,12
	(bulbos)	ns	3,28	3,23	0,14
P (%). En plántula	2.5.89	*	0,813	0,691	0,055
	24.5.89	*	0,497	0,380	0,023
	14.6.89 (hojas)	*	0,490	0,390	0,020
	(bulbos)	*	0,576	0,523	0,022
K (%). En plántula	2.5.89	*	3,58	3,91	0,29
	24.5.89	*	3,91	4,23	0,27
	14.6.89 (hojas)	*	4,51	5,03	0,28
	(bulbos)	*	3,60	3,99	0,25
Relación de bulbificación	3.7.89	**	2,00	1,79	0,066
Peso seco bulbo / Peso seco hoja	3.7.89	**	0,863	0,723	0,060
Radiación fotosintéticamente activa interceptada (%)	13.6.89	*	14,0	10,9	1,11
	26.6.89	*	38,7	32,1	1,92
	11.7.89	*	60,4	55,3	2,40
Producción final (Mg ha⁻¹)		ns	59,4	56,0	4,40

ns = no significativo

* = significativo a nivel 5 %

** = significativo a nivel 1 %

(1) El efecto de la inyección de fertilizante se obtuvo mediante análisis de covarianza considerando los otros tratamientos. La separación de medias se realizó utilizando el test de Mínima Diferencia Significativa (MDS) para una $P < 0,05$.

(2) Media de veinticuatro parcelas elementales con ocho plantas muestreadas en cada parcela elemental.

El 50% de plantas maduras con inyección de fertilizante se alcanzó 1,15 días antes que en las parcelas no tratadas ($P < 0,05$). Todas las plantas alcanzaron la madurez y no se observó una subida prematura a flor.

Las diferencias observadas debido a la inyección de fertilizante no se tradujeron en el momento de la recolección en un incremento de los rendimientos (cuadro 5.3).

5.4.1.2. Segunda época de siembra :19 de mayo. (Experimento 5.1.2.).

En el análisis de varianza realizado para las distintas variables medidas cabe destacar:

1. En el análisis de la fecha del 50 % de emergencia sólo fué significativo el factor tratamiento de semilla ($P < 0,05$).

La emergencia de plántulas (fecha del 50% de emergencia) procedentes de semillas pre-acondicionadas se produjo 0,56 días antes que las procedentes de semillas no tratadas.

2. En el análisis correspondiente a la variable porcentaje de emergencia no se observaron diferencias significativas debidas a los tratamientos, tampoco existió significación en las interacciones de los factores principales.

3. En todos los análisis posteriores a la emergencia no se observaron diferencias significativas debidas al tratamiento de las semillas en ninguno de los parámetros controlados. Tampoco existió significación en las interacciones de los factores principales.

En base a lo expuesto y a partir de la emergencia, únicamente se presentan en el cuadro 5.4 los resultados correspondientes a la separación de medias de las distintas variables medidas y para el tratamiento inyección de fertilizante. En el análisis cabe señalar, como ya se ha indicado, que la interacción de la inyección de fertilizante con el tratamiento de las semillas y la densidad de plantas no fue significativa.

Cuadro 5.4. Efecto de la inyección de la solución de fosfato amónico bajo la semilla. Época de siembra 19 de mayo ⁽¹⁾.

Variable	Fecha de muestreo		Con inyección de fertilizante ⁽²⁾	Sin inyección de fertilizante ⁽²⁾	MDS ($P < 0,05$)
Peso seco de la plántula (g)	4.7.89	**	0,206	0,140	0,030
	31.7.89	*	4,28	3,34	0,55
N (%). En plántula	4.7.89	ns	4,17	4,09	0,10
P (%). En plántula	4.7.89	**	0,53	0,40	0,03
K (%). En plántula	4.7.89	*	4,78	5,16	0,34
Relación de bulbificación	31.7.89	*	1,97	1,76	0,08
Peso seco bulbo / Peso seco hoja	31.7.89	*	1,12	0,82	0,15
Subida a flor prematura en recolección (%)		*	3,59	9,84	4,87
Producción final ($Mg\ ha^{-1}$)		ns	23,48	23,02	2,10

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

(1) El efecto de la inyección de fertilizante se obtuvo mediante análisis de covarianza considerando los otros tratamientos. La separación de medias se realizó utilizando el test de Mínima Diferencia Significativa (MDS) para una $P < 0,05$.

(2) Media de veinticuatro parcelas elementales con ocho plantas muestreadas en cada parcela elemental.

La inyección de fertilizante (cuadro 5.4) produjo un incremento significativo del peso seco de las plántulas,

especialmente en el primer muestreo, con un incremento del 47 %. En este mismo muestreo se observa que el tratamiento anterior incrementa los contenidos de fósforo en el material vegetal y disminuye los contenidos de potasio de forma significativa, no observándose diferencias en los contenidos de nitrógeno.

Las parcelas con inyección de fertilizante presentaban un adelanto significativo respecto a las no tratadas tal como se observa en los mayores valores de la relación de bulbificación y en el cociente del peso seco del bulbo respecto al peso seco de la hoja.

El 50% de la plantas maduras en las parcelas con inyección de fertilizante se alcanzó 2,4 días antes que en las parcelas no tratadas ($P < 0,05$).

En recolección no se observaron diferencias significativas en las producciones pero el porcentaje de plantas con subida a flor prematura se vió reducido.

5.4.2. Inyección de fertilizante en condiciones de riego por escorrentía y por turnos. (Experimento 5.2).

Las condiciones meteorológicas condicionaron los resultados en todos los experimentos planteados.

5.4.2.1. Inyección de fertilizante en relación a la época de siembra. (Experimento 5.2.1).

Se presentan los resultados de forma separada para cada una de las dos fechas de siembra, es decir, se analizan por separado. El motivo es que en la primera época de siembra (30 de enero), debido a la escasa precipitación y al no disponer de agua para el riego, no se alcanzó una densidad de plantas superior a 4 plantas m^{-2} en ninguna de las parcelas, por lo que se abandonaron. No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de emergencia en relación a la inyección de fertilizante.

En la segunda época de siembra (19 de febrero) no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de emergencia entre tratamientos. El porcentaje de emergencia fue de 15 plantas m^{-2} en las parcelas en las que inyectó fertilizante y de 28 plantas m^{-2} en las que no recibieron tratamiento fertilizante.

En el cuadro 5.5. se presentan los resultados del análisis del efecto de la inyección de fertilizante bajo semilla correspondientes al único muestreo de 18 de junio. Cabe señalar que fue significativa ($P < 0,05$) la variabilidad entre las plantas que recibieron la misma dosis de abonado.

La inyección de fertilizante produjo una disminución significativa de todas las variables medidas, no únicamente en el crecimiento sino también en el desarrollo.

Cuadro 5.5. Efecto de la inyección de la solución de fosfato amónico bajo semilla. Época de siembra 19 de febrero. Muestreo 18 de junio ⁽¹⁾.

Variable		Con inyección de fertilizante ⁽²⁾	Sin inyección de fertilizante ⁽²⁾	MDS (P < 0,05)
Peso seco de hojas (g)	*	1,25	1,44	0,17
Peso seco de bulbo (g)	*	0,77	1,05	0,13
Hojas totales	*	7,9	8,5	0,3
Hojas verdes	*	7,5	7,9	0,3
Área foliar (cm ² planta ⁻¹)	*	109	127	14
Relación de bulbificación	*	1,8	1,9	0,08

* = significativo a nivel 5 %

(1) La separación de medias se realizó utilizando el test de Mínima Diferencia Significativa (MDS) para una P<0,05.

(2) Media de treinta plantas por parcela elemental y tres repeticiones

5.4.2.2. Inyección de fertilizante en siembra de enero. (Experimento 5.2.2) .

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en relación al número de plantas establecidas o la fecha del 50 % de emergencia.

La densidad media de plantas en el tratamiento de inyección de fertilizante fue de 43 plantas m² y en las parcelas no tratadas de 50 plantas m² aunque existió más irregularidad en la disposición de plantas en las parcelas tratadas que entre tratamientos. La fecha del 50% de emergencia se produjo cuarenta días después de la siembra, el 9 de marzo.

Los contenidos de agua en el suelo medidos a lo largo del ciclo del cultivo (cuadro 5.6) indican que a partir de junio se agotaba el 65 % del agua fácilmente disponible entre riego y riego. El mayor estrés hídrico se produjo a finales de julio.

En el cuadro 5.7 se presentan los resultados de las variables medidas a lo largo del ciclo del cultivo en relación al efecto de la inyección de fertilizante bajo semilla. En el primer muestreo realizado el 23 de abril, las plantas eran muy pequeñas pero ya se observaron diferencias significativas (P < 0,05) en el peso total de la planta, diferencias que no se observaron en el muestreo del 29 de mayo. Cabe destacar que en mayo se analizaron ocho plantas por parcela frente a las veinticuatro del mes anterior, con lo que disminuyó la precisión. A partir de julio (en que ya se ha iniciado la bulbificación), las diferencias entre tratamientos son significativas (P < 0,05) para todas las variables medidas, excepto para los contenidos de nitrógeno total, fósforo y potasio en materia seca.

Cuadro 5.6. Contenidos de agua en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo ⁽¹⁾.

Fecha muestreo	Profundidad (cm)	Humedad gravimétrica (kg/100 kg)
06.02.91	0 - 5	9,5
	5 - 10	11,6
13.02.91	0 - 5	8,1
	5 - 10	10,3
21.02.91	0 - 5	11,6
	5 - 10	12,5
05.03.91	0 - 5	13,1
	5 - 10	15,0
13.03.91	0 - 5	12,5
	5 - 10	14,0
26.03.91	0 - 5	15,2
	5 - 10	16,5
03.04.91	0 - 5	7,9
	5 - 10	11,8
10.04.91	0 - 5	7,5
	5 - 10	11,0
16.04.91	0 - 5	7,9
	5 - 10	10,8
24.04.91	0 - 10	9,0
	10 - 20	10,7
02.05.91	0 - 10	8,1
	10 - 20	10,6
06.05.91	0 - 10	8,7
	10 - 20	10,2
13.05.91	0 - 10	8,9
	10 - 20	12,9
01.06.91	0 - 10	6,7
	10 - 20	9,3
17.06.91	0 - 10	6,8
	10 - 20	8,0
26.06.91	0 - 10	6,3
	10 - 20	10,3
02.07.91	0 - 10	6,9
	10 - 20	10,5
24.07.91	0 - 10	5,1
	10 - 20	8,1
02.08.91	0 - 10	6,3
	10 - 20	8,6
05.08.91	0 - 10	10,3
	10 - 20	12,3
	20 - 40	12,5

(1) En el período de riego, a partir del 23 de mayo, los muestreos coincidentes con una fecha en que se regaba, se realizaron antes del riego.

Las diferencias más importantes entre tratamientos se observaron el 3 de julio (inicio de la bulbificación), siendo las plantas que recibieron la dosis complementaria de abono en siembra un 58% más grandes en términos de biomasa (en peso seco de hojas y bulbo) que las no tratadas.

Cuadro 5.7. Efectos de la inyección de fertilizante líquido fosfo-amoniaco, bajo semilla, en cebolla.

Variable	Fecha de muestreo		Con inyección de fertilizante ⁽²⁾	Sin inyección de fertilizante ⁽²⁾	MDS (P<0,05)
Peso seco planta (g)	23.04.91	*	0,038	0,032	0,004
Peso seco hojas (g)	29.05.91	ns	0,322	0,237	0,093
	03.07.91	**	1,54	0,65	0,19
	18.07.91	*	1,61	1,03	0,48
	07.08.91	**	2,24	1,20	0,61
Peso seco bulbo (g)	29.05.91	ns	0,199	0,158	0,099
	03.07.91	**	1,56	0,66	0,26
	18.07.91	**	2,79	1,28	0,76
	07.08.91	**	5,44	2,54	1,72
	23.08.91	*	5,78	3,77	0,33
Diámetro bulbo (cm)	03.07.91	**	2,5	1,6	0,3
	18.07.91	**	3,5	2,6	0,6
	07.08.91	**	4,6	3,5	0,7
	23.08.91	**	5,4	4,6	0,1
Peso fresco bulbo (g)	23.08.91	*	75,6	48,2	4,30
N en hoja (%)	23.04.91	ns	2,90	2,76	0,52
	29.05.91	ns	2,74	2,16	2,55
N en bulbo (%)	23.04.91	ns	2,34	2,37	1,42
	03.07.91	ns	2,72	2,36	7,02
	23.08.91	ns	2,46	2,97	1,02
P en hoja (%)	23.04.91	ns	0,35	0,31	0,12
	15.05.91	ns	0,24	0,23	0,14
	03.07.91	ns	0,13	0,11	0,15
P en bulbo (%)	15.05.91	ns	0,23	0,23	0,07
	03.07.91	ns	0,21	0,25	0,10
	23.08.91	ns	0,29	0,32	0,15
K en hoja (%)	23.04.91	*	4,73	3,56	0,96
	15.05.91	ns	1,41	1,36	0,60
	03.07.91	ns	1,38	1,34	1,23
K en bulbo (%)	15.05.91	ns	1,96	1,89	0,78
	03.07.91	ns	1,91	2,22	2,08
	23.08.91	ns	1,03	1,06	0,47
Producción final (Mg ha⁻¹)		**	32,5	24,1	-

ns = no significativo

* = significativo al 5 %

** = significativo al 1 %

(1) La separación de medias se realizó utilizando el test de Mínima Diferencia Significativa (MDS) para una P<0,05.

(2) Media de tres repeticiones y de ocho plantas, excepto en el 23.04.91 donde es de veintiocho plantas. En el peso fresco del bulbo y diámetro del bulbo en recolección (23.08.91) se midieron noventa bulbos.

Las diferencias observadas en los valores de biomasa fraccionada a partir del 3 de julio también se tradujeron en un mayor diámetro del bulbo en las parcelas tratadas con inyección de fertilizante.

En las parcelas tratadas la fecha en que se alcanzó el 50 % de plantas maduras se produjo 2,5 días antes (4 de agosto) que en las parcelas no tratadas.

Las diferencias observadas se tradujeron en recolección en un incremento de los rendimientos, aunque los rendimientos fueron bajos.

5.5. DISCUSIÓN

Los resultados de los experimentos indican que los efectos beneficiosos de la inyección de fertilizante fosfo-amoniaco van ligados a las condiciones de manejo, en especial la disponibilidad de agua. Es también importante el diseño del sistema de inyección de forma que se evite alterar el lecho de siembra, manteniendo el buen contacto de la semilla con el suelo y evitando efectos salinos ligados a la inyección del fertilizante.

En el experimento 5.1 (cuadro 5.3) con plena disponibilidad de agua de riego y nutrientes, la inyección de fertilizante acelera el crecimiento inicial de las plántulas y la madurez con independencia del tratamiento de las semillas o de la densidad de plantas. No obstante, ello no se traduce en un incremento de los rendimientos. Las diferencias iniciales observadas en peso seco, que equivalen al incremento de peso que se produce en tres días, desaparecen en recolección debido a la reducción del periodo de crecimiento (adelanto de la madurez) ligado a la utilización de la inyección de fertilizante. El avance en la fecha de madurez se explica en base al mayor crecimiento foliar y, por tanto, al mayor índice de área foliar y a las consecuentes modificaciones en la calidad espectral de la luz dentro de la cubierta vegetal que inciden en el adelanto de la madurez (Mondal *et al.*, 1986). El avance de la madurez resulta interesante de por sí, especialmente en relación a siembras tardías, ya que a pesar de que en la estación de cultivo el porcentaje de plantas que no alcanzaron la madurez fue bajo, la inyección de fertilizante produjo una reducción significativa del mismo y probablemente, si estas plantas inmaduras no se hubiesen incluido en la producción final, en los rendimientos.

En el experimento 5.2 el agua fue el factor limitante principal y el que condicionó la emergencia y crecimiento de las plantas. En el experimento 5.2.1, el incremento de la concentración de fertilizante bajo la semilla en condiciones de déficit hídrico retrasó el crecimiento e incluso el desarrollo. La disminución en el número total de hojas (verdes más secas) en las parcelas tratadas indicaría un retraso en la fecha en que se alcanza el 50 % de emergencia. El efecto negativo del fertilizante pudo ir ligado a una disminución del potencial osmótico alrededor de la semilla o a la alteración física provocada por la reja inyectora por debajo de la semilla.

En el experimento 5.2.2, en el mismo tipo de suelo que en el experimento 5.2.1, se observó, aunque no se cuantificó, que la inyección de fertilizante provocaba una modificación del lecho de siembra, la utilización de 2 rejas (una para depositar el fertilizante y otra para la semilla) que se desplazan paralelamente, provocaba una microtopografía en el lecho de siembra más ondulada con la aplicación de fertilizante. En las parcelas con inyección de fertilizante, las semillas quedaron enterradas pero a la vez recubiertas por la pequeña ondulación formada. Consecuentemente, la profundidad de siembra pudo ser de 5 a 10 mm superior en las parcelas con inyección de fertilizante, por lo que podría haberse dificultado la emergencia de las plántulas. En relación a ello sería necesario mejorar el diseño de la sembradora incorporando un pequeño rulo compactador tras la reja.

En el experimento 5.2.2, en contraposición al experimento 5.1, las diferencias iniciales en peso seco de la parte aérea se mantuvieron hasta el final. Aunque las plantas tratadas eran más grandes, el peso de las mismas era casi un 45 % menor, para un mismo estadio vegetativo, que en el experimento 5.1, indicando que el crecimiento estaba condicionado por otros factores tan importantes como la fertilización. A partir de junio, entre riego y riego (cuadro 5.6), existen periodos en que se llega a agotar el 80% del agua disponible entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente en el suelo. El estrés hídrico en los períodos iniciales se vió reducido por las inusuales lluvias del mes de marzo (con una probabilidad de ocurrencia inferior a un 10%), que casi aportaron 100 mm (anejo III). No obstante, los contenidos de nitrógeno en hoja o globalmente en la planta fueron bajos atendiendo a los criterios de Painter (1980) y Zink (1962) así como los contenidos en fósforo según los criterios de Caldwell, Summer y Vavrina (1994) y Mahur *et al.* (1989).

Los contenidos de potasio fueron de difícil interpretación porque, aunque el porcentaje de potasio sobre materia seca disminuyeron al avanzar el ciclo, los contenidos tanto en hoja como en bulbo en el mes de mayo fueron bajos (Zink, 1962), indicando que existió otro factor limitante distinto de la fertilización, en el suministro de potasio, probablemente la causa fuese la reducción de la disponibilidad de agua que a su vez redujo la velocidad de difusión de los iones potasio. La diferencia significativa en el muestreo de abril en relación al potasio en hoja y en favor del tratamiento fertilizante, podría explicarse en base a un también mayor crecimiento de la planta, que iría ligado a un mayor crecimiento radicular, (capítulo 3), favoreciendo la absorción de este macronutriente.

El dilatado tiempo de emergencia (cuarenta días), ligado también a las bajas temperaturas en siembra, ya que desde la siembra hasta finales de febrero hubo 16 días de helada, con temperaturas que descendieron a $-7,4^{\circ}\text{C}$ (anejo III), condicionó la densidad de plantas y, consecuentemente, los rendimientos globales.

El avance de la madurez observado iría ligado al mayor crecimiento foliar, al igual que en el experimento 5.1.

En el experimento 5.2.2, considerando la baja capacidad de retención de agua disponible en el suelo, el sistema de riego y el bajo coeficiente de difusión del fósforo (Barber, 1974; Fried y Broeshart, 1967), resultaría que el fósforo inmediatamente disponible para la planta se hallaría situado en una banda muy estrecha alrededor de las raíces. Ello explicaría las diferencias en peso seco de las plantas entre tratamientos al incrementar la concentración de fósforo en la zona cercana a la semilla, y que estas diferencias se mantuviesen hasta recolección. Cabe recordar que el coeficiente de difusión del fósforo disminuye si el contenido de agua en el suelo se reduce (Nye, 1966).

5.6. CONCLUSIONES

- Cuando la disponibilidad de agua de riego no es condicionante, la inyección de fertilizante líquido fosfoamoniaco bajo semilla (3 cm) en cebolla incrementa el crecimiento inicial de las plántulas, adelanta la madurez al incrementar el crecimiento foliar y, en siembras tardías, en donde el proceso de bulbificación puede revertirse al reducirse la longitud del día y disminuir las temperaturas, disminuye el porcentaje de plantas que no alcanzan la madurez.
- El incremento del crecimiento debido a la inyección de fertilizante se produce en condiciones de abonado de fondo en que se aporta fósforo y potasio en cantidad suficiente para cubrir las extracciones del cultivo en estos macronutrientes.
- En condiciones de cultivo en que la disponibilidad de agua no cubra las necesidades hídricas máximas, las diferencias de crecimiento observadas durante el ciclo vegetativo a favor del tratamiento se pueden traducir en un incremento de las producciones, siempre y cuando la inyección de fertilizante no reduzca el porcentaje de emergencia o a la duración de la misma.
- No existen interacciones significativas entre el tratamiento de las semillas (pre-acondicionado) y la inyección de fertilizante líquido fosfoamoniaco en siembra en las condiciones en que se ha realizado el ensayo.
- La inyección de fertilizante debajo de la semilla parece ser muy sensible a la tecnología de inyección del fertilizante y al manejo del agua de riego, pudiéndose producir efectos opuestos a los buscados con reducción del crecimiento.
- Para poder recomendar un empleo generalizado de la inyección de fertilizante se necesita una mayor experimentación en un conjunto amplio de suelos con el fin de poder determinar la influencia de las características edáficas en la magnitud de la respuesta.
- Con la información disponible a partir de la presente investigación y para los suelos utilizados, de pH ligeramente ácido a básico y con niveles de fertilidad bajos en fósforo y potasio en relación al cultivo de la cebolla, se puede recomendar la inyección de fertilizante fosfoamoniaco bajo semilla para optimizar las producciones en este cultivo.