

RELACIÓN DE MÉTODOS DE LABRANZA, SIEMBRA, RIEGO Y DOSIS DE NITRÓGENO CON EL RENDIMIENTO DE TRIGO*

RELATIONSHIP OF TILLAGE AND PLANTING METHODS, IRRIGATION, AND NITROGEN RATE WITH WHEAT YIELD

Lourdes Ledesma Ramírez¹, Ernesto Solís Moya^{1§}, María del Pilar Suaste Franco¹ y María Florencia Rodríguez García²

¹Campo Experimental Bajío. INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel, km 6.5. C. P. 38000. Celaya, Guanajuato. Tel. 01 461 6115323. Ext. 155. (lulis_amigui@hotmail.com), (pilar_ika86@hotmail.com). ²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Lechería, km 18.5. Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9542877. Ext. 127. (flor280281@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: esolismoya@hotmail.com.

RESUMEN

El objetivo fue determinar los efectos de cuatro métodos de labranza, dos métodos de siembra, tres dosis de nitrógeno y dos calendarios de riegos sobre el rendimiento de cuatro variedades de trigo. La investigación se estableció en los ciclos otoño-invierno 2004-2005, 2005-2006 y 2006-2007. Se evaluaron cuatro métodos de labranza: barbecho-rastra, cero-labranza, multiarado-rastra y rastra; dos métodos de siembra: melgas y surcos; dos calendarios de riego; cuatro y tres riegos; tres dosis de fertilización nitrogenada: 120, 160 y 240 kg ha⁻¹; y cuatro genotipos: línea V-56, Bárcenas S2002 de tipo harinero, Gema C2004 y Topacio C97 de tipo cristalino. Los análisis de varianza en los cuatro métodos de labranza no detectaron diferencias en rendimiento en los factores principales años y métodos de siembra. El método de labranza barbecho-rastra y los métodos de siembra interaccionó con la dosis de nitrógeno. El número de riegos afectó el rendimiento de grano en tres métodos de labranza: barbecho-rastra, multiarado-rastra y rastra; del mismo modo, el calendario de cuatro riegos produjo mayor rendimiento que el de tres riegos. El rendimiento promedio de las variedades de trigo harinero Bárcenas S2002 y V-56 superó a las variedades cristalinas bajo el método de cero-labranza, pero no en los otros métodos. En el método de barbecho-rastra, la variedad Gema C2004 mostró mayor rendimiento; en cero-labranza fueron las variedades

Bárcenas S2002 y V-56; y para rastra fueron las variedades Gema C2004 y Bárcenas S2002. Una mayor disponibilidad de humedad incrementó la eficiencia en el uso del nitrógeno y el rendimiento.

Palabras clave: barbecho, melgas, multiarado, rastra, surcos.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine on the yield of four wheat varieties the effects of four tillage and two planting methods, three nitrogen rates and two irrigation schedules. The research was carried out during the winter cycles of 2004-2005, 2005-2006 and 2006-2007. We assessed four tillage methods: fallow-harrow, tillage-cero, multiplough-harrow and harrow; two planting methods: flat bed and raised bed; two irrigation schedules; four and three irrigations; three nitrogen rates: 120, 160 and 240 kg ha⁻¹, and four genotypes: two bread wheat Barcenás S2002 and line V-56 and two durum wheat Gema C2004 and Topacio C97. The analysis of variance in the four tillage methods did not detect differences in yield on the main factors years and planting methods. In the fallow-harrow system, planting

* Recibido: febrero de 2009
Aceptado: febrero de 2010

methods interacted with nitrogen rate. The number of irrigations affected grain yield in the tillage methods: fallow-harrow, harrow and multiplough-harrow in which the highest yield was obtained with four irrigations. The average yield of Barcenas S2002 and V-56 was higher than the durum wheat varieties under tillage-cero method but not in the others methods. The genotype Gema C2004 showed the highest yield in fallow-harrow method; Barcenas S2002 and V-56 in tillage-cero and Barcenas S2002 and Gema C2004 in the harrow method. A major availability of moisture increased the efficiency in the exploitation of N and yield.

Key words: fallow, flat bed, harrow, multiplough, raised bed.

INTRODUCCIÓN

El Bajío es la segunda región productora de trigo del país y contribuye con 28.3% de la producción nacional de este cereal (SIAP, 2009). En esta región se siembra entre 90 a 95% de trigos harineros y el resto de trigos cristalinos (Solís *et al.*, 2009b). Entre los principales problemas que afectan la producción de trigo en El Bajío es la escasez de agua para riego. En esta región el balance hidráulico subterráneo presenta un déficit de más de 900 millones de m³, debido a una sobre explotación del acuífero (más de 16 000 pozos en operación), que está ocasionando un abatimiento de 3 a 6 m año⁻¹ y elevando los costos de energía en la extracción de agua (Flores-Lui, 2000). Adicionalmente, la baja disponibilidad de agua en presas de almacenamiento y la creciente contaminación ambiental agudizan la disminución del recurso, por lo que los criterios de eficiencia y eficacia en el uso del agua para riego agrícola son ineludibles (Arreola *et al.*, 2002).

La eficiencia en el uso del agua de los cultivos es modificada por diversas prácticas de manejo tales como: rotación, sistemas de labranza, riego, fertilización, variedades o híbridos, fecha de siembra y otras prácticas (Loomis y Amthor, 1996); o bien mediante el mejoramiento de las plantas para producir un mayor rendimiento económico bajo condiciones deficientes de humedad, para lo cual es necesario aplicar métodos de selección que permitan identificar genotipos que muestren mayor uso eficiente del agua.

Por otra parte, los altos costos de los insumos y la escasez de agua debido a la baja captación de las presas y al abatimiento de los mantos acuíferos han reducido la rentabilidad y la superficie de trigo en El Bajío. Entre las tecnologías disponibles para reducir costos y optimizar el uso del agua está la labranza de conservación (Govaerts *et al.*, 2007).

La labranza de conservación no es una práctica agrícola, sino un sistema de producción que permite la rotación de cultivos incluyendo varias especies, en el que el suelo se remueve únicamente la línea al momento de la siembra y se deja al menos 30% de los residuos del cultivo anterior sobre la superficie (Martínez, 2006). Con este sistema se logra reducir el costo de producción (principalmente por la preparación del suelo), una mayor eficiencia en el uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas, reducción del tiempo para el establecimiento de los cultivos de la rotación, un manejo sostenible del suelo y mayor eficiencia en el uso del agua de riego (Solís *et al.*, 2007).

En un experimento realizado por 18 años practicando la labranza de conservación se ha registrado una reducción en los montos de inversión por hectárea durante el ciclo primavera-verano del orden del 18 al 22% con respecto al sistema convencional y del 16 al 25% durante el ciclo otoño-invierno. Esta reducción se debe a la eliminación del laboreo y su variación se debe a diferencias de las condiciones climáticas y a las modalidades de labranza de conservación, en función de las recomendaciones del diagnóstico agronómico (Martínez, 2006).

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para la fotosíntesis, para que las plantas fijen el carbono del aire, acumulen materia seca y produzcan rendimientos económicamente atractivos. Sin embargo, el N es un nutriente casi universalmente deficiente por las pérdidas de este elemento causadas por el deficiente manejo a que han sido sometidos los suelos y por la agresión que se hace de sus reservas orgánicas. Ello ocasiona que para satisfacer la demanda de los cultivos, el N deba agregarse al suelo en grandes cantidades como fertilizante nitrogenado o abono orgánico.

La respuesta de rendimiento del trigo al nitrógeno es de 6 a 7 kg de trigo por cada kg de nitrógeno aplicado, con máximos de 12 a 14 kg de trigo (Quintero y Boschetti,

2009). Esto significa que si el trigo requiere de 30 a 35 kg de N para producir una tonelada de grano, considerando que la eficiencia de utilización del nitrógeno de la urea es en promedio de 18 al 25%, llegando en el mejor de los casos al 50%, se está evidenciando que las pérdidas de N, o las ineficiencias para su aprovechamiento en el cultivo de trigo son elevadas.

Estudios realizados en México por Ortiz (2009), indican que la eficiencia en el uso de nitrógeno en el cultivo de trigo en el sur de Sonora es 31%; es decir, 69% restante no es absorbido por el cultivo; esto representa un importante gasto para el productor y por otro lado, tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Grageda (1999), señala que los estudios con técnicas convencionales e isotópicas (^{15}N) muestran que la eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados en los principales cultivos en El Bajío es 20% a 40%; por tanto, se fugan del sistema agrícola cerca de 90 000 t N año⁻¹, lo que representa pérdidas anuales de 450 millones de pesos.

En el caso del trigo hace 30 años se aplicaban 150 kg N ha⁻¹, se obtenían 6 t de grano ha⁻¹ y el contenido de materia orgánica del suelo era 2.6%. En la actualidad, se aplican en promedio 330 kg N ha⁻¹, se obtienen los mismos rendimientos y el contenido de materia orgánica ha disminuido hasta 0.6% en algunas áreas de la región (Grageda *et al.*, 2004).

El estudiar cómo los diferentes métodos de labranza interactúan con los métodos de siembra, calendarios de riego, dosis de fertilización y genotipos permitirá conocer las prácticas de manejo adecuadas para obtener altos rendimientos con menor costo. El objetivo de esta investigación fue determinar en cuatro métodos de labranza el efecto de dos métodos de siembra, tres dosis de nitrógeno y dos calendarios de riegos sobre el rendimiento de cuatro variedades de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El CEBAJ se localiza en Celaya, Guanajuato a 20° 32' latitud norte, 100° 48' longitud oeste y 1 752 m de altitud; la precipitación y temperatura media anuales son 578 mm y 19.8 °C respectivamente. El suelo donde

se estableció el experimento es de textura arcillosa, clasificado como Vertisol, con pH 7.8, materia orgánica 2.31%, nitrógeno 5.62 mg kg⁻¹, fósforo 12.3 mg kg⁻¹ y potasio 1 016 mg kg⁻¹.

Se evaluaron cuatro métodos de labranza: barbecho y dos rastras (B-R), dos rastras (R), multiarado y dos rastras (M-R) y cero-labranza (C-L); dos métodos de siembra: melgas y surcos de 75 cm de separación sembrados a doble hilera con separación de 20 cm entre hileras; dos calendarios de riego; cuatro riegos: a 0, 45, 75 y 100 días y tres riegos a 0, 45 y 75 días después de la siembra; tres dosis de fertilización nitrogenada: 120, 160 y 240 kg ha⁻¹, y cuatro genotipo: línea V-56 y Bárcenas S2002 de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), Gema C2004 y Topacio C97 de trigo cristalino (*Triticum durum* Desf.). Las dosis de nitrógeno señaladas se complementaron con 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. En todos los tratamientos se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y la segunda mitad del N en el primer riego de auxilio.

La parcela experimental estuvo formada por ocho surcos de 10 m de largo separados a 75 cm para el caso de la siembra en surcos y de melgas de 60 m² sembradas en hileras de 17 cm de separación. La parcela útil fueron de 2 surcos de 3 m de largo para el caso de surcos y de 4.5 m² en el caso de melgas. Los experimentos se establecieron en los ciclos otoño-invierno 2004-2005, 2005-2006 y 2006-2007, en la segunda quincena de diciembre. Se empleó una densidad de siembra de 120 kg de semilla por hectárea para ambos métodos de siembra.

En los ciclos 2004-2005 y 2006-2007 se aplicó Topik[®] a los 28 días después de la siembra para controlar las malezas de hoja angosta y Esterón 47[®] a los 34 días después de la siembra para controlar las malezas de hoja ancha. En el ciclo 2005-2006 se aplicó Sigma-S[®] a los 30 días después de la siembra para control de malezas de hoja angosta y ancha. Se aplicó Folicur 1000E[®], a una dosis de 0.5 L ha⁻¹, para controlar roya lineal (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* W.), y roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.). La cosecha se realizó con una minicombinada para parcelas experimentales. Se determinó el rendimiento de grano (RG), en gramos por parcela y se transformó a kg ha⁻¹.

En cada año de evaluación del experimento, se cosecharon cuatro repeticiones por cada tratamiento. Para el análisis de la información se promedió las

cuatro repeticiones y el valor obtenido; esto es, el promedio de cada tratamiento por año, se consideró como una repetición para el análisis global de la información.

El conjunto de datos se analizó como un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas sub-subdivididas, con tres repeticiones (años); en las parcelas grandes se establecieron los métodos de siembra. En la parcela mediana se asignaron los calendarios de riego. Las subparcelas fueron las tres dosis de nitrógeno, y la sub-subparcela se asignó a las cuatro variedades evaluadas.

Los análisis se realizaron en cada método de labranza: barbecho-rastra, cero-labranza, multiarado-rastra y rastra. Los resultados se analizaron a través de análisis de varianza y contrastes mediante rutinas de SAS (SAS Institute, 2009).

Se hizo una estimación de la eficiencia en el uso del nitrógeno a través de los métodos de labranza (usando los promedios de rendimiento de los cuatro métodos de labranza) para los factores método de siembra, dosis de nitrógeno y calendario de riegos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó que el método de labranza B-R tuvo diferencias altamente significativas en número de riegos, dosis de nitrógeno; significativas en genotipos y en las interacciones de primer orden dosis de nitrógeno por método de siembra y dosis de nitrógeno por número de riegos. En C-L se detectó diferencias significativas en el factor genotipos. En el método M-R se obtuvo diferencias altamente significativas en el factor número de riegos y significativas en dosis de nitrógeno. En el método R se obtuvo diferencias altamente significativas en genotipos y significativas en número de riegos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de rendimiento en los cuatro métodos de labranza.

Fuente de variación	GL	Barbecho-rastra	Cero-labranza	Multiarado-rastra	Rastra
Años (bloques)	2	15 707 872	11 286 649	15 102 877	17 511 917
Método de siembra (MS)	1	257 935	51 184	837 680	6 932 615
Error 'a'	2	29 943 696	13 998 176	14 777 906	12 751 542
Número de riegos (NR)	1	33 417 138**	31 725 748	22 910 260**	25 554 953*
NR * MS	1	2 814 767	55 305	7 503	1 236 448
Error 'b'	4	1 540 362	5 136 433	30 473	2 127 286
Dosis de nitrógeno (DN)	2	1415836**	930 040	2 035 266*	1 830 663
DN * MS	2	708 194*	186 836	341 123	102 2924
DN * NR	2	992 030*	1 637 528	842 059	400 622
DN * NR * MS	2	459 309	152 162	161 538	87 296
Error 'c'	16	182 700	948 630	473 923	513 712
Genotipos (G)	3	7 261 756*	4 191 40*	3 038 644	4 787 885**
G * MS	3	321 901	453 872	172 019	69 086
G * NR	3	3 039 351	1 635 740	346 213	299 792
G * NR * MS	3	596 040	442 852	166 537	337 790
Error 'd'	24	1 622 261	1 068 663	1 272 462	742 004
G * DN	6	169 586	83 298	149 154	209 225
G * DN * MS	6	183 549	184 503	170 210	50 176
G * DN * NR	6	98 204	156 353	137 824	34 909
G * DN * MS * NR	6	59 608	51 834	140 614	72 977
Error 'e'	48	179 670	211 487	99 412	104 162
CV (%)		9.5	10.1	7.5	7.7
Total	143				

CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; **= diferencias altamente significativas; *= diferencias significativas.

El factor método de siembra interactuó con la dosis de nitrógeno en el método de labranza B-R. El análisis de esta interacción (Cuadro 2 y Figura 1) mostró que bajo el método de siembra tradicional (melgas) las dosis altas de nitrógeno 160 y 240 kg ha⁻¹ producen mayor

rendimiento que la dosis de 120 kg ha⁻¹, y se obtuvo el mismo rendimiento con las tres dosis en el método de siembra en surcos. Asimismo, se observó que 160 y 240 kg ha⁻¹ de N producen el mismo rendimiento en ambos métodos de siembra.

Cuadro 2. Descomposición de los grados de libertad de la interacción entre dosis de nitrógeno y métodos de siembra, con el carácter rendimiento en el método barbecho-rastra.

Comparación de tratamientos	GL	Cuadrados medios	Medias (kg ha ⁻¹)		Diferencias entre tratamientos (kg ha ⁻¹)
D120 S vs D160 y D240 S	1	274 553	4 436	4 567	-131
D120 T vs D160 y D240 T	1	3 270 172**	4 137	4 589	-452
D160 S vs D240 S	1	608 803	4 680	4 454	226
D160 T vs D240 T	1	94 534	4 545	4 634	-89

D= dosis de nitrógeno (kg); S= método de siembra en surcos; T= método de siembra tradicional; GL= grados de libertad; **= diferencias altamente significativas.

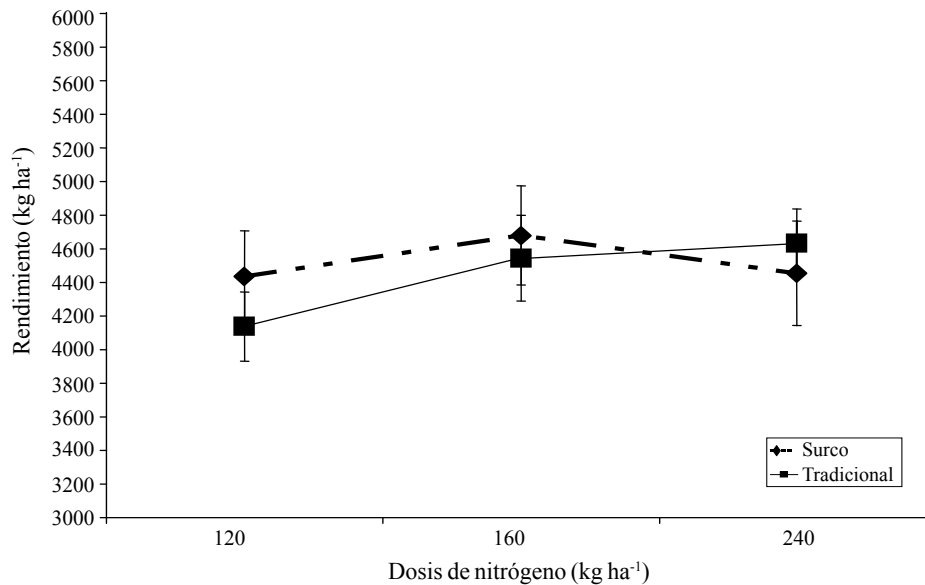


Figura 1. Efecto de la interacción entre dosis de nitrógeno y métodos de siembra, sobre el rendimiento de trigo en barbecho-rastra.

El efecto de la eficiencia en el uso de nitrógeno del trigo en surcos y melgas fue estudiado por Khaleque *et al.* (2008), quienes observaron una mayor recuperación de nitrógeno y rendimiento de grano en el método de siembra en surcos que en el método tradicional (melgas). El método de siembra en surcos tiene otras ventajas como son ahorro en el gasto de agua de riego y energía eléctrica, ahorro en la aplicación de pesticidas y factibilidad de entrar en la parcela con maquinaria después de la etapa de encañe, todos estos factores favorecen la reducción de los costos producción (Limón *et al.*, 2000).

El número de riegos afectó el rendimiento de grano en tres métodos de labranza B-R, M-R y R. En los tres resultó significativo este factor, el calendario de cuatro riegos produjo mayor rendimiento de trigo que el de tres (Cuadro 3).

Las dosis de nitrógeno fueron significativas en dos métodos B-R y M-R. En ambos casos las dosis de 160 y 240 kg N ha⁻¹ superaron la dosis de 120 kg ha⁻¹. En el método de barbecho-rastra, no se detectaron diferencias en rendimiento entre las dosis de 160 y 240 kg N ha⁻¹; en cambio en el método multirado-rastra, la dosis de 240 kg ha⁻¹ produjo mayor rendimiento que la de 160 kg ha⁻¹.

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento de trigo, entre calendarios de riego y tres métodos de labranza.

Método de labranza	GL	Cuadrados medios	Medias (kg ha ⁻¹)		Diferencias entre tratamientos (kg ha ⁻¹)
			4 riegos	3 riegos	
Barbecho-rastra	1	33 417 138**	4 963	3 999	964
Multiarado-rastra	1	22 910 260**	4 610	3 813	797
Rastra	1	25 554 953*	4 605	3 762	843

GL= grados libertad; *, ** = diferencias a un nivel de significancia $p \leq 0.05$ y 0.01 respectivamente.

La interacción significativa entre número de riegos y dosis de nitrógeno en el método B-R (Cuadro 4 y Figura 2), indicó que con cuatro riegos con las dosis de 160 y 240 kg N ha⁻¹, se obtuvieron rendimientos más altos que con la dosis de 120 kg ha⁻¹. En cambio, con el calendario de tres riegos se obtuvo el mismo rendimiento con las tres dosis de nitrógeno. Solís y Díaz de León (2001) al evaluar tres dosis de nitrógeno y tres calendarios de riego indicaron que estos factores interactúan con la fecha de siembra.

Al analizar los efectos simples de dichos tratamientos dentro de cada fecha de siembra observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno en la primer fecha de siembra con los calendarios

de dos y cuatro riegos pero no con el calendario de tres riegos, lo cual indica que cuando se dispone de agua para dar sólo tres riego se debe fertilizar con 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

Para la segunda fecha de siembra no se detectaron diferencias significativas entre estos tratamientos en los tres calendarios de riego evaluados, lo cual indica que para esta fecha de siembra 120 kg ha⁻¹ son suficientes para alcanzar los rendimientos más altos posibles para este ambiente. Hossain *et al.* (2006) no detectaron significancia en la interacción del número de riegos con la dosis de fertilización sobre el rendimiento unitario debido quizás a que en su estudio el número máximo de riegos fue tres y la mayor dosis fue de 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

Cuadro 4. Descomposición de los grados de libertad de la interacción, entre dosis de nitrógeno y número de riegos, con rendimiento de trigo bajo el método de labranza barbecho-rastra.

Comparación de tratamientos	GL	Cuadrados medios	Medias (kg ha ⁻¹)		Diferencias entre tratamientos (kg ha ⁻¹)
D120 3R vs D160 y D240 3R	1	35 822	3 968	4 015	-47
D160 3R vs D240 3R	1	1 786	4 021	4 009	12
D120 4R vs D160 y D240 4R	1	4 592 762**	4 605	5 141	-536
D160 4R vs D240 4R	1	185 364	5 203	5 079	124

D= dosis de nitrógeno; 3R= calendario de 3 riegos; 4R= calendario de 4 riegos; GL= grados libertad; **= diferencias a un nivel de significancia $p \leq 0.01$.

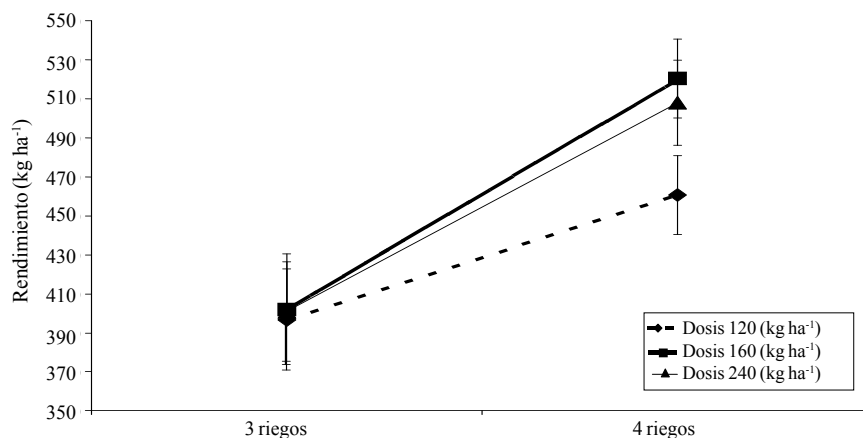


Figura 2. Efecto de la interacción entre dosis de nitrógeno y calendarios de riego, sobre el rendimiento en el método de labranza barbecho-rastra.

Los análisis de varianza detectaron diferencias significativas entre genotipos en los métodos de labranza B-R, C-L y R, en ninguno de los métodos los genotipos interactuaron con alguno de los factores del experimento (Cuadro 1). El promedio de las variedades de trigo harinero Bárcenas S2002y V-56 superó el rendimiento de las variedades cristalinas bajo el método de C-L, pero no en los métodos de B-R y R (Cuadro 5). Solís *et al.* (2009a) señalan que en condiciones de riego restringido el rendimiento de las variedades de trigo harinero superó al de las variedades de trigo cristalino.

Con dos riegos no hubo diferencias significativas entre trigos harineros, pero sí con tres riegos, en este ambiente el rendimiento de trigos de gluten fuerte fue inferior al de trigos de gluten débil. Estos resultados indican que no es recomendable la siembra de trigos cristalinos con calendarios de dos y tres riegos; en cambio, con cinco riegos rinden igual que los trigos de gluten débil y medio fuerte, y superan a los fuertes hasta con 582 kg ha⁻¹. Bárcenas S2002 superó a V-56 en el método de cero-labranza, pero estas variedades tuvieron el mismo rendimiento en los métodos de barbecho-rastra y rastra.

La variedad Gema C2004 superó el rendimiento de Topacio C97 en los tres métodos de labranza. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Solís *et al.* (2005), quienes señalan que Gema 2004 es significativamente superior a todas las variedades comerciales de trigo cristalino, superando en 6.9% a Altar C84, en 13.4% a Topacio C97, en 19.2% a Ámbar C97 y en 20.8% a Aconchi C89.

Si bien el objetivo de esta investigación no fue determinar la eficiencia en el uso del nitrógeno ya que con la metodología empleada, no se puede determinar el porcentaje de absorción del nitrógeno adicionado al suelo y diferenciarlo del que ya estaba en forma disponible en el mismo, se realizó una estimación para determinar la cantidad de grano producido por unidad de nitrógeno aplicada (Cuadro 6), este análisis se hizo con el promedio del rendimiento de los cuatro métodos de labranza. Los valores observados fluctuaron entre 39 y 16 kg de grano por unidad de fertilizante aplicada. En general la dosis menor (120 kg ha⁻¹) casi duplicó la producción de grano por kg de nitrógeno aplicado en relación con la dosis más alta (240 kg ha⁻¹).

Cuadro 5. Comparaciones de medias entre genotipos en tres métodos de labranza.

Comparación de tratamientos	GL	Diferencias entre tratamientos (kg ha ⁻¹)		
		Barbecho-rastra	Cero-labranza	Rastra
BAR y V-56 VS TOP y V-20	1	138	368*	185
BAR vs V-56	1	435	386	445*
V-20 vs TOP	1	992**	527*	729**

GL= grados libertad; BAR= Bárcenas; V-56= línea V-56; TOP= Topacio; V-20= Gema; *, **= diferencias significativas y altamente significativas, respectivamente.

Cuadro 6. Eficiencia en el uso de nitrógeno, en diferentes tratamientos evaluados en el experimento.

Método de siembra	Número de riegos	Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Eficiencia de nitrógeno*
Surcos	3	120	3 989	33
	3	160	3 999	25
	3	240	3 853	16
	4	120	4 730	39
	4	160	5 023	31
	4	240	5 112	21
	Melgas	3	120	3 739
3		160	3 923	25
3		240	4 011	17
4		120	4 181	35
4		160	4 852	30
4		240	4 929	21

*= kg de grano de trigo producido por 1 kg de nitrógeno aplicado.

Los métodos de siembra no afectaron la eficiencia en el uso del nitrógeno; en cambio una mayor disponibilidad de humedad (aplicar cuatro riegos en lugar de tres) incrementó ligeramente el rendimiento de grano por unidad de nitrógeno aplicada. Los valores altos de eficiencia en relación a los reportados por Quintero y Boschetti (2009), se deben en gran parte al ambiente de producción ya que estos autores obtuvieron rendimientos máximos de 1 400 kg ha⁻¹ con dosis máximas de 160 kg ha⁻¹.

En este estudio el rendimiento con el mejor de los tratamientos fue superior a 5 t ha⁻¹, lo que proporciona una mayor eficiencia. Estos resultados concuerdan con Solís *et al.* (2003), quienes reportan un rendimiento de 10.1 t ha⁻¹, con la variedad Bárcenas S2002 a dosis de 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno en un ambiente óptimo para la producción de trigo, que proporciona una eficiencia de 42.1 kg de grano por 1 kg de nitrógeno aplicado, que significa el doble del obtenido con esta dosis en la presente investigación.

CONCLUSIONES

El método de siembra no afectó el rendimiento de las variedades de trigo evaluadas, factor que interaccionó con dosis de nitrógeno en el método barbecho-rastra, donde se observó que en melgas las dosis de 160 y 240 kg ha⁻¹ superan a 120 kg ha⁻¹. La dosis de nitrógeno interaccionó también con número de riegos ya que con el calendario de cuatro riegos las dosis altas de nitrógeno superan a 120 kg ha⁻¹ de N.

La mayor disponibilidad de humedad incrementó la eficiencia en el uso del nitrógeno en trigo, así un calendario de cuatro riegos producirá más grano por unidad de nitrógeno aplicada que uno de tres.

La respuesta de las variedades a través de los métodos de labranza fue diferencial, en el método de barbecho-rastra la variedad que mostró mayor rendimiento fue Gema C2004; en cero-labranza fueron los genotipos harineros Bárcenas S2002 y V-56; y para rastra fueron las variedades Gema C2004 y Bárcenas S2002; en el método multiarado-rastra no hubo diferencias entre genotipos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores(as) expresan su agradecimiento a la Fundación Guanajuato Produce, A. C. por el financiamiento parcial de los trabajos de investigación proyecto 482-2008, que condujeron a la elaboración y desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Arreola, T. J. M.; Díaz de León, T. J. G.; Vuelvas, C. M. A.; Terrones, R. R. T. L. y Mora, G. M. 2002. La tecnología y su relación con los recursos naturales. ¿Es posible detener la degradación del agua en la producción agrícola? *In: 2º Coloquio Internacional "El desarrollo rural en México en el Siglo XXI"* 20-22 de marzo de 2002. Cámara de Diputados LVIII Legislatura. México, D. F. ISBN 968-7181-89-3. 157-170 pp.
- Flores-Lui, F. 2000. El programa de asistencia en riego, Guanajuato. *In: Memorias en CD. 2º Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal.* León, Guanajuato.
- Govaerts, B.; Sayre, K. D.; Lichter, K.; Dendooven, L. and Deckers, J. 2007. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant and Soil.* 291:39-54.
- Grageda-Cabrera, O. A. 1999. La fertilización nitrogenada en El Bajío guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambientales. Tesis Doctoral, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. México. 160 p.
- Grageda, C. O.; Medina, C. T.; Aguilar, A. J. L.; Hernández, M. M.; Solís, M. E.; Aguado, S. G. A. y Peña C. J. J. 2004. Pérdidas de nitrógeno por emisión de N₂ y N₂O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. *Agrociencia.* 38(6):625-633.
- Hossain, L. L.; Islam, K.; Sufian, A.; Meisner, C. A. and Islam, S. 2006. Effect of planting method and nitrogen levels on the yield and yield attributes of wheat. *J. Bio-Sci.* 14:127-130.

- Khaleque, M. A.; Paul, N. K. and Meisner, C. A. 2008. Yield and N use efficiency of wheat as influenced by bed planting and N application. *Bangladesh J. Agril. Res.* 33(3):439-448.
- Limón-Ortega, A.; Sayre, K. D. and Francis, C. A. 2000. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. *Agron. J.* 92:303-308.
- Loomis, R. S.; and Amthor, J. S. 1996. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. *Crop Sci.* 39:1584-1596.
- Martínez, R. A. 2006. Experiencias en la producción de trigo en labranza de conservación. *In: Ríos, R. S. A.; Solís, M. E. y Hernández, M. M. (eds.). Primer foro de producción y comercialización de trigo en Guanajuato.* Salamanca, Guanajuato, México. 119-123 pp.
- Ortiz, M. I. 2009. Manejo de nitrógeno en trigo. URL: <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/nitrogenotrigo.htm>.
- Quintero, C. E. y Boschetti, G. N. 2009. Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la región pampeana Argentina. URL: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/quintero/Eficiencia%20de%20Uso%20del%20Nitrogeno%20en%20Trigo%20y%20Maiz.asp>.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2009. The SAS system for window. SAS Institute Inc. Cary, NC27513, USA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2009. SAGARPA. México. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>.
- Solís, M. E.; A. Salazar, Z.; Huerta, E. J.; Ramírez, R. A.; Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2003. Bárcenas S2002: nueva variedad de trigo para El Bajío. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:73-74.
- Solís, M. E.; Villaseñor, M. H. E.; Ramírez, R. A.; Rodríguez, G. M. F.; Espinosa, T. E. y Hortelano, S. R. 2009a. Respuesta de variedades de trigo al riego restringido en El Bajío. INIFAP, CEBAJ, Guanajuato. Desplegable técnico. Núm. 2.
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Ireta, M. J.; Sánchez, D. R.; Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. y Ramírez, R. A. 2009b. Josecha F2007: variedad de trigo harinero para El Bajío y zonas de riego del norte de México. INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico. Núm. 4. 27 p.
- Solís, M. E.; Pérez, H. P.; Huerta, E. J.; Ramírez, R. A.; Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2005. Gema C2004, nueva variedad de trigo cristalino para la región El Bajío. *Agric. Téc. Méx.* 31:219-223.
- Solís, M., E.; Ríos, R. S. A.; García, N. H.; Arévalo, V. A.; Grageda, C. O. A.; Vuelvas, C. M. A.; Díaz de León, T. J. G.; Aguilar, A. L.; Ramírez, R. A.; Narro, S. J.; Bujanos, M. R.; Marín, J. A. y Peña, M. R. 2007. Producción de trigo de riego en El Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico. Núm. 3. 94 p.
- Solís, M. E. y Díaz de León, T. J. G. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *Terra.* 19(4):375-383.