



**EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA
FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL
RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS PRINCIPALES
COMPONENTES EN TRES GENOTIPOS DE TRIGO PAN**
(Triticum aestivum L)

Autor: BERTAPELLE, Augusto

Tutor: Dr. MAICH Ricardo

AREA DE CONSOLIDACIÓN:

Sistemas Agrícolas de Producción Extensivos

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

AÑO 2018

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la densidad de siembra y de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento agronómico de tres genotipos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en la región centro de la provincia de Córdoba. Se llevaron a cabo ensayos durante las campañas 2016 y 2017. Tres materiales de trigo pan ontogénicamente diferentes, se cultivaron en dos densidades de siembra, 125 y 250 semillas viables m⁻², dos de ellos líneas experimentales, *Lore 13-4* y *21-13-14*, y un cultivar comercial (*Klein Liebre*). Se fertilizó con urea a una dosis de 100 kg de N ha⁻¹. Durante el año 2016 la misma fue voleada luego de la emergencia del cultivo al estado de Z1.2 de la escala *Zadocks*. Durante el año 2017 la fertilización se realizó al momento de la siembra. El diseño empleado fue en parcelas divididas en bloques con dos repeticiones cuyas unidades experimentales fueron micro-parcelas de cuatro surcos de cinco metros de longitud y separados a veinte centímetros. Se midieron o estimaron las siguientes variables: rendimiento en grano y en biomasa aérea (kg ha⁻¹), peso de mil granos (g), mientras que se estimaron el índice de cosecha (%) y el número de granos por metro cuadrado. Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANAVA, utilizando el programa estadístico *InfoStat*, y se realizaron comparaciones de medias con la prueba estadística DGC. La producción media de biomasa aérea y el número de granos del cultivar *Klein Liebre* resultaron significativamente mayores a los valores medios de ambas líneas experimentales. Para el rendimiento en grano, índice de cosecha y el peso de mil granos la interacción genotipo × año de evaluación resultó estadísticamente significativa. La merma en el rendimiento en grano en el año 2017 respecto al logrado en el año 2016 fue más marcada en la línea experimental *21-13-14* (-67,2%) que en el cultivar comercial *Klein Liebre* (-22,6%). En cuanto al efecto de la densidad de siembra, la diferencia a favor de la densidad más alta (250 semillas viables m⁻²) para el rendimiento en biomasa aérea alcanzó el 12,2 %. No se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de medias entre el testigo sin fertilizar y el tratamiento con fertilizante. Entre las opciones de manejo estudiadas, la elección varietal primó por encima de las otras dos prácticas de manejo (densidad de siembra y fertilización nitrogenada).

Palabras claves: *Triticum aestivum* L., densidad de siembra, fertilización nitrogenada, interacción genotipo × ambiente, respuesta agronómica.

Introducción

La superficie dedicada a cultivos anuales se ha expandido durante el período 1988-2002 a una tasa anual media superior al 0,27%, siendo en la región Pampeana donde se produjo el mayor crecimiento: 14,3% en Córdoba; 9,9% en Entre Ríos, 9,8% en Santa Fe y 6,0% en Buenos Aires (Orúe *et al.*, 2007). Parte de esta expansión se debió al cambio que sufrió el manejo del suelo con la implementación de la siembra directa (SD). El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) se valió de esta circunstancia y en la actualidad se cultiva en secano en ambientes semiáridos.

A la hora de cultivar trigo en la región central de la provincia de Córdoba, se deben considerar un conjunto de aspectos como la calidad de la semilla, tipo de cultivar, fecha y densidad de siembra, cantidad de agua almacenada y disponibilidad de nutrientes en el suelo al momento de la siembra. Al tener en cuenta estos aspectos se propende a lograr rendimientos por encima de la media regional o lo que el productor suele obtener en su campo.

Al momento de siembra del trigo la semilla constituye el insumo de más alto valor (Spink *et al.*, 2000). Es de suma importancia determinar la densidad óptima de siembra, cuestionándonos hasta qué punto la capacidad de producir macollos fértiles puede compensar la reducción de la población de plantas debido a una disminución en la densidad de siembra. Los procesos que conducen a la generación del rendimiento en el cultivo de trigo se ven restringidos por la competencia entre las plantas determinando que el cultivo se encuentre limitado por uno o más factores (Masle, 1985). Variaciones en la densidad de siembra pueden llegar a incrementar o reducir dicha competencia. Carr *et al.* (2003) afirman que la oscilación en el rendimiento en función de la densidad de siembra asume un polinomio de segundo grado, es decir que, a medida que se incrementa la densidad, el rendimiento en grano responde positivamente, hasta un punto en el que se vuelve constante para luego decrecer. Por su parte, Ellen (1990) señala que un incremento de la densidad de siembra da origen a un mayor número de macollos por unidad de superficie, sin embargo, el índice de cosecha (IC) se ve reducido al igual que el rendimiento en grano debido a un menor número de granos por espiga y al

menor peso de 1000 granos. Por el contrario, Arduini *et al.* (2006), observaron que el incremento en la densidad de siembra permitió obtener un mayor número de espigas por unidad de área e incrementar tanto la acumulación de materia seca como la removilización de la misma desde las partes vegetativas hacia el grano. Finalmente, Spink *et al.* (2000) constataron una interacción significativa entre la densidad y fecha de siembra. Los resultados mostraron que, a medida que se atrasa la fecha de siembra, la densidad óptima de plantas incrementa, ya que las plantas no logran compensar la reducción de la población mediante un aumento en el número de macollos y un mayor número de granos por espiga.

Es conveniente poner en resalto que la intensificación de los sistemas agrícolas mediante el uso de materiales de alto rendimiento, de fertilizantes sintéticos y de agroquímicos condujo a un incremento en la producción de alimentos en la última mitad del siglo pasado. Sin embargo, esto trajo aparejado una alteración en las interacciones bióticas y abióticas, ocasionando una modificación en los patrones de disponibilidad de recursos (Matson *et al.*, 1997), como es el caso del nitrógeno (N). Contrario a lo que se piensa, los cultivares modernos de trigo no incrementaron la demanda de N, sino que resultaron más eficientes en la utilización del mismo (Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997). López-Bellido y López-Bellido (2001) demostraron que el rendimiento de trigo no posee una respuesta adicional a las tasas de fertilizantes de N superiores a 100 kg ha⁻¹. Por su parte, Hinzman *et al.* (1986) observaron que las parcelas que no fueron sometidas a tratamientos con fertilizantes redujeron sus niveles de clorofila y resultaron en una menor área foliar, lo que incidió negativamente sobre el rendimiento. Es importante aclarar que la cantidad de lluvia y su distribución temporal durante la etapa vegetativa del cultivo influyen sobre la disponibilidad de N y la capacidad de absorción que tiene la planta (López-Bellido *et al.*, 1998). Fischer (1993) realizó un estudio bajo condiciones óptimas de manejo, empleando riegos suplementarios y eliminando la posibilidad de estrés hídrico, obteniendo como resultado una respuesta positiva al incremento de fertilización en el rendimiento en grano, pero la eficiencia en el uso de N disminuyó con las dosis máximas implementadas de 320 kg ha⁻¹ de N y con aplicaciones posteriores al inicio del alargamiento del tallo. En condiciones de secano, pero con la ventaja de contar

con precipitaciones invernales, Deng *et al.* (2006) obtuvieron una respuesta negativa a la fertilización nitrogenada a partir de la aplicación de dosis superiores a 200 kg ha⁻¹. En cuanto al momento en que se debería fertilizar el cultivo de trigo, los resultados de Barbieri *et al.* (2008) indican que la fertilización a la siembra conduce a un proceso de pérdida de N por lixiviación, ocasionado por el exceso de agua durante las primeras etapas del crecimiento del cultivo, siendo éste el principal factor de pérdida del nutriente. En las regiones semiáridas de clima monzónico con escasas precipitaciones invernales se recomienda la fertilización al momento de la siembra, con lo cual se incrementa la eficiencia del uso del agua ante el suministro de nitrógeno (Shangguan *et al.*, 2000). Respecto a la práctica de fraccionar la fertilización a lo largo del ciclo del cultivo de trigo los resultados de Alcoz *et al.* (1993) no resultaron consistentes. Por su parte, Sarandón *et al.* (1997) observaron que la aplicación de N en forma dividida en pre-siembra y en macollaje, si bien favoreció una mayor acumulación de N, no afectó la partición hacia el grano.

El objetivo del presente estudio fue determinar, en condiciones de campo, el efecto de la variación en la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano y sus principales componentes en tres genotipos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.).

Materiales y Métodos

Para la realización de este estudio se llevaron a cabo ensayos en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba) ubicado geográficamente a 31°28 49,42” S y 64°00 36,04” O durante las campañas 2016 y 2017. Los cultivos fueron implantados sobre lotes sujetos a un barbecho estival. El suelo se clasifica como un *Haplustol Éntico* de textura franco-limosa y bien provisto de materia orgánica. Por el método gravimétrico se estimó la cantidad de agua útil disponible al momento de la siembra hasta los 2 m de profundidad. Se sembraron tres materiales de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) ontogénicamente diferentes. Dos de ellos corresponden a líneas experimentales, *Lore 13-4* (ciclo corto) y *21-13-14* (ciclo intermedio-largo), y un cultivar comercial de ciclo intermedio (*Klein Liebre*). Cada genotipo se cultivó en dos densidades de siembra, 125 y 250

semillas viables m^{-2} . La siembra se realizó en el mes de junio (07/06/16 y 14/06/17). Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud distanciados por 0,20 m. En el transcurso de los dos años de evaluación se recurrió a distribuir los tratamientos en parcelas divididas (parcela principal = material y sub-parcela = densidad de siembra) en un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con dos repeticiones. Los materiales se fertilizaron con urea a una dosis de $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Durante el año 2016 la urea fue voleada luego de la emergencia del cultivo al estado de Z1.2 (dos hojas en el tallo principal) de la escala *Zadocks*. La fertilización se realizó el 28 de junio luego de una precipitación de 46 mm acontecida entre el 25 y 26 de junio. Durante el año 2017 la fertilización se realizó al momento de la siembra. Es preciso aclarar que la combinación de tratamientos “material x densidad” fue la única que se aleatorizó. La fertilización nitrogenada se hizo sobre la mitad de cada unidad experimental transversalmente a la dirección de siembra. Por cada combinación de tratamientos se cosechó una muestra de un metro cuadrado, a partir de las cuales se midieron o estimaron las siguientes variables: rendimiento en grano y en biomasa aérea (kg ha^{-1}), peso de mil granos (g), mientras que se estimaron el índice de cosecha (%) y el número de granos por metro cuadrado.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANAVA, utilizando el programa estadístico *InfoStat* (Di Rienzo *et al.*, 2016), y se realizaron comparaciones de medias con la prueba estadística DGC.

Resultados y Discusión

No se constataron interacciones significativas entre los distintos materiales a lo largo de los dos años de evaluación para las variables biomasa aérea y número de granos por unidad de superficie, por lo que sus efectos sobre la respuesta resultan aditivos y se los puede analizar de manera independiente. La producción media de biomasa aérea y el número de granos del cultivar *Klein Liebre* resultaron significativamente mayores a los valores medios de ambas líneas experimentales (Tabla 1). Por su parte, la producción de biomasa aérea y el número de granos por metro cuadrado fueron significativamente mayores en el año 2016 respecto al año 2017 (Tabla 2).

Tabla 1. Rendimiento en biomasa aérea (g m^{-2}) y número de granos por metro cuadrado en tres genotipos de trigo.

Genotipo	Rendimiento en biomasa aérea		Número de granos	
	(g m^{-2})		(m^2)	
<i>Lore 13-4</i>	683,2	c	5848	b
<i>21-13-14</i>	946,8	b	6737	b
<i>Klein Liebre</i>	1139,1	a	9062	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla 2. Efecto del año agrícola (2016 y 2017) sobre el rendimiento en biomasa aérea (g m^{-2}) y el número de granos por metro cuadrado.

Año	Rendimiento en biomasa aérea		Número de granos	
	(g m^{-2})		(m^2)	
2016	1154,6	a	9166,0	a
2017	691,4	b	5264,6	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El rendimiento en grano está determinado por dos componentes físicos: número de granos y peso de estos. A su vez, existen otros dos componentes denominados fisiológicos, que juegan un papel crucial en la generación del rendimiento, la biomasa aérea y el índice de cosecha. Si bien no se observaron diferencias entre genotipos en cuanto al rendimiento en grano, sí las hubo para el número de granos por unidad de superficie, su principal componente numérica o física (Sinclair y Jamieson, 2006; Fischer, 2008). El cultivar comercial *Klein Liebre* puso de manifiesto un número de granos 25,7 % superior al de la línea experimental *21-13-14* y 35,5 % superior al de la línea experimental *Lore 13-4*. Algo similar aconteció con la producción de biomasa aérea. Reynolds *et al.* (2005) sugieren que el incremento de la fotosíntesis y la eficiencia en el uso de la radiación responden directamente a un mayor número de granos por espiga, por lo que el proceso de limitación del rendimiento está dado por este componente.

Por otra parte, el año 2016 fue agrónomicamente superior al 2017. La caída del 40 % en la producción de biomasa aérea durante la campaña del 2017 y del 42,6 % en cuanto al número de granos por unidad de superficie, se explica por el daño por heladas que sufrió el cultivo durante los meses de junio y julio

del 2017 al estado vegetativo. Por otra parte, la cantidad de agua almacenada a la siembra en el año 2016 fue de 278,9 mm respecto a los 224,0 mm del año 2017 con un menor régimen pluviométrico a lo largo del ciclo de cultivo. La conjunción de la pérdida de biomasa aérea por efecto de las bajas temperaturas y la concomitante agua evapotranspirada, más las escasas reservas hídricas determinaron que la recuperación del cultivo fuese menor.

Se observó, por el contrario, que para el rendimiento en grano, índice de cosecha y el peso de mil granos la interacción genotipo \times año de evaluación ($G \times A$) resultó estadísticamente significativa (Tabla 3). Para el rendimiento en grano, índice de cosecha y el peso de mil granos, y durante el transcurso del año 2016, la línea experimental *21-13-14* puso de manifiesto valores medios más altos que los del cultivar comercial *Klein Liebre*, +4,5%, +10,9% y +14,2%, respectivamente (Figuras 1, 2 y 3). Lo inverso aconteció en el año 2017 cuando los valores medios del cultivar comercial fueron sustantivamente mayores a los de la mencionada línea experimental (-55%, -32,2% y -17,8%).

Tabla 3. Rendimiento en grano (g m^{-2}), índice de cosecha (%) y peso de mil granos (g) para tres genotipos de trigo cultivados durante un bienio (2016 y 2017).

Genotipos	Año	Rendimiento en grano (gm^{-2})		Índice de cosecha (%)		Peso de mil granos (g)	
<i>Lore 13-4</i>	2016	266,0	b	29,83	a	35,2	a
<i>Lore 13-4</i>	2017	110,1	c	22,84	b	26,6	c
<i>21-13-14</i>	2016	322,0	a	25,89	b	33,8	a
<i>21-13-14</i>	2017	105,6	c	16,74	c	25,9	c
<i>Klein Liebre</i>	2016	308,0	a	23,35	b	29,6	b
<i>Klein Liebre</i>	2017	238,4	b	24,69	b	31,5	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

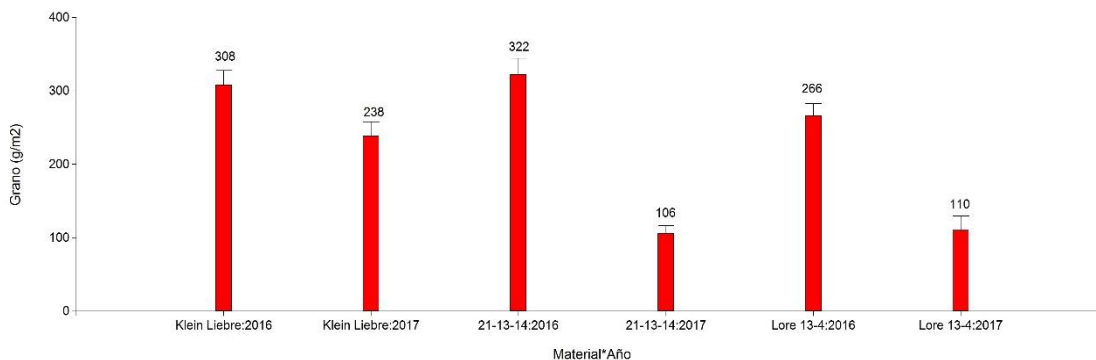


Figura 1. Representación gráfica de la interacción genotipo x año de evaluación para la variable rendimiento en grano en tres genotipos de trigo pan durante los años 2016 y 2017.

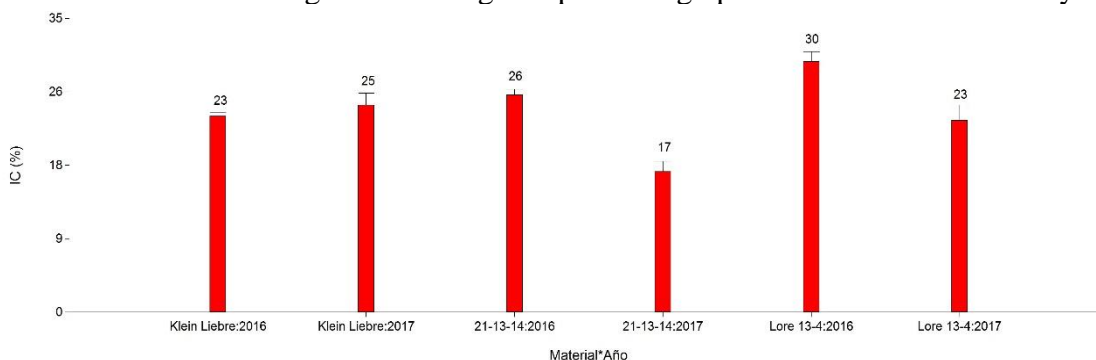


Figura 2. Representación gráfica de la interacción genotipo x año de evaluación para la variable índice de cosecha en tres genotipos de trigo pan durante los años 2016 y 2017.

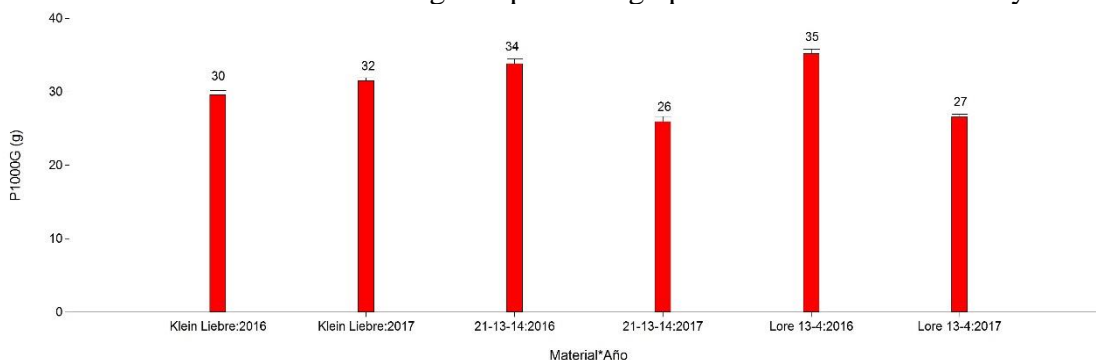


Figura 3. Representación gráfica de la interacción genotipo x año de evaluación para la variable peso de mil granos en tres genotipos de trigo pan durante los años 2016 y 2017.

La variación que existe en la respuesta de los genotipos a los diferentes ambientes, conocida como interacción $G \times A$, juega un papel importante al momento de optar por el genotipo a cultivar. Rodríguez-González *et al.* (2011) observaron que la interacción $G \times A$ tuvo alta significancia para las variables rendimiento de grano, sus componentes y calidad harinera evaluadas en cuatro ambientes. La merma en el rendimiento en grano en el año 2017 respecto al

logrado en el año 2016 fue más marcada en la línea experimental 21-13-14 (-67,2%) que en el cultivar comercial *Klein Liebre* (-22,6%), de lo que se deduce que ambos genotipos fueron afectados por el ambiente de manera diferente. Mostrándose a priori el cultivar comercial más estable que la línea experimental.

En cuanto al efecto de la densidad de siembra sobre el comportamiento agronómico del cultivo de trigo, solo se constataron diferencias estadísticamente significativas entre medias para la variable rendimiento en biomasa aérea (Tabla 4 4). La diferencia a favor de la densidad más alta (250 semillas viables m⁻²) alcanzó el 12,2 %. Cabe señalar que el número de plántulas logradas resultó menor al número estimado al momento de la siembra, resultando en el caso del cultivar *Klein Liebre* y la línea experimental 21-13-14 una merma promedio del 15% y 13%, respectivamente.

Tabla 4. Valores medios de rendimiento en biomasa aérea (g m⁻²), rendimiento en grano (g m⁻²), índice de cosecha (%), peso de mil granos (g) y número de granos por metro cuadrado para dos densidades de siembra en trigo.

Densidad (semillasm ⁻²)	Rendimiento en biomasa aérea (g m ⁻²)	Rendimiento en grano (g m ⁻²)	Índice de cosecha (%)	Peso de mil granos (g)	Número de granos (m ²)
125	862,8 b	216,3	24,2	30,4	6929
250	983,3 a	233,8	23,5	30,4	7502

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p ≤ 0,05)

Diferencias significativas en el rendimiento de biomasa aérea fueron observadas a favor de la mayor densidad de siembra. Los resultados discrepan de la bibliografía consultada, que afirma que la reducción de la densidad de siembra permite una compensación por parte de las plantas ante el incremento en la producción de macollos (Blue *et al.*, 1990; Gooding *et al.*, 2002). Si bien el rendimiento de biomasa resultó significativamente menor al reducir la densidad poblacional, esta circunstancia no repercutió negativamente sobre la producción de grano. Estos resultados adquieren relevancia a la luz de lo afirmado por Spink *et al.* (2000) quienes retienen que la semilla es el insumo más costoso a la hora de llevar adelante el cultivo de trigo, por lo que no

resulta aventurado disminuir a la mitad la densidad de siembra sin por ello ver disminuida la producción de grano.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de medias entre el testigo sin fertilizar y el fertilizado a razón de 100 kg de nitrógeno por hectárea (Tabla 5).

Tabla 5. Valores medios de rendimiento en biomasa aérea (g m^{-2}), rendimiento en grano (g m^{-2}), índice de cosecha (%), peso de mil granos (g) y número de granos por metro cuadrado para dos niveles de fertilización nitrogenada en trigo.

Fertilización nitrogenada (kg. Nm^{-2})	Rendimiento en biomasa aérea (gm^{-2})	Rendimiento en grano (g m^{-2})	Índice de cosecha (%)	Peso de mil granos (g)	Número de granos (m^2)
0	904,9	227,1	24,5	30,6	7254
100	941,1	223,0	23,3	30,2	7177

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El rendimiento del cultivo de trigo posee una respuesta positiva a las dosis de fertilización nitrogenada (Delogu *et al.*, 1998) y su eficiencia, sobre todo en las regiones semiáridas, está en función de la cantidad de agua útil almacenada en el suelo al momento de la siembra (Singh *et al.*, 1975) y de la disponibilidad inicial de N mineral en el suelo (Zhen-Ling *et al.*, 2006). Contrariamente a lo observado por Arzadum *et al.* (2013), quienes obtuvieron una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada en un ambiente de características semejantes a las del Campo Escuela, en este trabajo la fertilización con nitrógeno a la siembra o al voleo luego de la emergencia no repercutió significativamente sobre el comportamiento agronómico del cultivo de trigo.

Conclusión

En el centro-norte de la provincia de Córdoba no se acostumbra a fertilizar con nitrógeno el cultivo de trigo. Entre los motivos, se puede mencionar que en la dicha región el cultivo de trigo se caracteriza por llevarse a cabo en condiciones de secano, donde las precipitaciones invernales son escasas y el mismo se encuentra expuesto a condiciones de estrés hídrico. Argumentos más que valederos para también disminuir la densidad de siembra.

Contextualizando lo antedicho, entre las opciones de manejo estudiadas, la elección varietal primó por encima de las dos prácticas de manejo mencionadas.

Bibliografía

- Alcoz, M. M., Hons, F. M., & Haby, V. A. (1993). Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agronomy Journal*, 85(6), 1198-1203.
- Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., & Mariotti, M. (2006). Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 309-318.
- Arzadun, M., Laborde, H., & Arroquy, J. (2013). Fertilización nitrogenada en trigo para la producción de forraje y grano en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Agriscientia*, 30(1), 1-11.
- Barbieri, P. A., Rozas, H. S., & Echeverría, H. E. (2008). Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. *Canadian Journal of Plant Science*, 88(5), 849-857.
- Blue, E. N., Mason, S. C., & Sander, D. H. (1990). Influence of planting date, seeding rate, and phosphorus rate on wheat yield. *Agronomy Journal*, 82(4), 762-768.
- Carr, P. M., Horsley, R. D., & Poland, W. W. (2003). Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars. *Crop science*, 43(1), 202-209.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., & Stanca, A. M. (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 9(1), 11-20.
- Deng, X. P., Shan, L., Zhang, H., & Turner, N. C. (2006). Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. *Agricultural water management*, 80(1-3), 23-40.

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. InfoStatversión 2016. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Ellen, J. (1990). Effects of nitrogen and plant density on growth, yield and chemical composition of two winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 164(3), 174-183.
- Fischer, R. A. (1993). Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research*, 33(1-2), 57-80.
- Fischer, R. A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*, 105(1-2), 15-21.
- Gooding, M. J., Pinyosinwat, A., & Ellis, R. H. (2002). Responses of wheat grain yield and quality to seed rate. *The Journal of Agricultural Science*, 138(3), 317-331.
- Hinzman, L. D., Bauer, M. E., & Daughtry, C. S. T. (1986). Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote sensing of environment*, 19(1), 47-61.
- López-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J. E., & López-Garrido, F. J. (1998). Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 57(3), 265-276.
- López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, 71(1), 31-46.
- Masle, J. (1985). Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crop. In *Wheat growth and modelling* (pp. 33-54). Springer, Boston, MA.

- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504-509.
- Ortiz-Monasterio, R., Sayre, K. D., Rajaram, S., & McMahon, M. (1997). Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Science*, 37(3), 898-904.
- Orúe, M. E., Látterra, P., & Cabria, F. (2007). Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el modelo USLE con apoyo de SIG. *TELEDETECCIÓN: Hacia un mayor entendimiento de la dinámica global y regional*.
- Reynolds, M. P., Pellegrineschi, A., & Skovmand, B. (2005). Sink-limitation to yield and biomass a summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology*, 146(1), 39-49.
- Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, BC, México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 543-558.
- Sarandón, S. J., Golik, S. I., & Chidichimo, H. O. (1997). Acumulación y partición del nitrógeno en dos cultivares de trigo pan ante la fertilización nitrogenada en siembra directa y labranza convencional. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 102.
- Shangguan, Z. P., Shao, M. A., & Dyckmans, J. (2000). Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 44(2), 141-149.
- Sinclair, T. R., & Jamieson, P. D. (2006). Grain number, wheat yield, and bottling beer: an analysis. *Field Crops Research*, 98(1), 60-67.
- Singh, R., Singh, Y., Prihar, S. S., & Singh, P. (1975). Effect of N Fertilization on Yield and Water Use Efficiency of Dryland Winter

Wheat as Affected by Stored Water and Rainfall 1. *Agronomy Journal*, 67(5), 599-603.

Spink, J. H., Semere, T., Sparkes, D. L., Whaley, J. M., Foulkes, M. J., Clare, R. W., & Scott, R. K. (2000). Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 137(2), 179-188.

Zhen-Ling, C. U. I., Xin-Ping, C. H. E. N., Jun-Liang, L. I., Jiu-Fei, X. U., Li-Wei, S. H. I., & Zhang, F. S. (2006). Effect of N Fertilization on Grain Yield of Winter Wheat and Apparent N Losses1. *Pedosphere*, 16(6), 806-812.