

Evaluación de la fertilización integral en la producción de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack)

Integral evaluation of fertilization on triticale seed production (*X Triticum secale* Wittmack)

Mendoza Elos M¹, S Sámano Rodríguez¹, F Cervantes Ortiz¹, E Andrio Enríquez¹,
JA Rangel Lucio¹, JG Rivera Reyes¹, LP Guevara Acevedo¹, E Moreno Martínez²

Resumen. La producción de semilla no solo requiere la aplicación de técnicas sino también un buen conocimiento y planificación de los aspectos agrícolas de la producción que permitan el uso eficaz del personal y de los medios de producción disponible. La ventaja en el uso de biofertilizantes en la agricultura es la reducción en los costos de producción, ya que implica una disminución significativa de los fertilizantes químicos, y a su vez una reducción en los costos de insumos. El objetivo de este trabajo fue determinar cuál es la mejor combinación entre la fertilización química y orgánica en la producción de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). El trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México en 2008-2009. Se evaluaron tres variedades de triticale, dos densidades de población y la combinación de fertilización química con biofertilizantes. Se tomaron datos de rendimiento de semilla, altura de planta, longitud de espiga, peso de 100 semillas y peso específico. Los datos se analizaron utilizando un diseño de bloques al azar con arreglo factorial. La variedad T5 fue superior con rendimientos de 8,56 t/ha, las densidades de siembra de 100 y 125 kg/ha fueron estadísticamente iguales para rendimiento. Los rendimientos de semilla fueron superiores cuando se usó la dosis de 50% de fertilizante químico más 50% de biofertilizantes, con un valor de 7,70 t/ha. La mayor altura de planta se obtuvo con la dosis de 75% biofertilizantes y 25% químico (1,11 m), y con la dosis de 100% biofertilizantes (1,12 m). El valor más alto para longitud de espiga (17,29 cm) y peso de 100 semillas (42,3 g) fue cuando se combinaron ambos fertilizantes al 50% cada uno. Los tratamientos de fertilización no afectaron estadísticamente al peso hectolítrico de la semilla.

Palabras clave: Triticale; Calidad de semillas; Biofertilizantes; Densidad de siembra.

Abstract. Seed production requires not only the application of appropriate techniques but also a good knowledge and planning aspects of agricultural production that allow an effective use of the staff and available production facilities. The advantage in using biofertilizers in agriculture is the reduction in production costs. This is because less chemical fertilizers are needed, and in turn this implies a reduction in input costs. Therefore, the objective of this study was to determine the best combination of chemical and organic fertilization for seed production on triticale (*X Triticum secale* Wittmack). The study was conducted at the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, Mexico in 2008-2009. We evaluated three varieties of triticale, two population densities and a combination of chemical fertilizers with biofertilizers. We used a complete randomized block design with three replications to evaluate a total of 30 treatments. Seed yield, plant height, spike length, 100-seed weight and specific gravity were recorded. The T5 variety had the highest seed yield (8.56 t/ha). Plant density, however, did not affect this parameter. Higher seed yields (7.70 t/ha) were obtained when chemical and Biofertilizers were combined at a dose of 50% each. The highest plant heights were obtained at doses of 75% biofertilizer and 25% chemical fertilizers (1.11 m) and with 100% biofertilizers (1.12 m). Highest values for spike length (17.29 cm) and seed weight (42.3 g) were shown when both fertilizers were combined at 50% each. The fertilization treatments did not statistically affect the hectoliter weight of seeds.

Keywords: Triticale; Seed quality; Biofertilizers; Population density.

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 carretera Celaya-J. Rosas Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110. Tel (461)6116362 Ext. 135.

² Profesor Investigador de la UNIGRASS-UNAM, Cuautitlán Izcalli s/número Edo. de México
Address Correspondence to: Mariano Mendoza Elos, e-mail: mmendoza66@hotmail.com
Recibido / Received 12.VI.2013. Aceptado / Accepted 15.X.2013.

INTRODUCCIÓN

El ciclo de producción orgánica de alimentos de origen vegetal se debe iniciar con la semilla obtenida de la misma manera: orgánicamente. La producción de semillas depende de un conjunto de técnicas que varían de acuerdo a la especie vegetal (Terenti, 2004). Además de aspectos agrícolas de la producción, se consideran condiciones técnicas y ambientales, normas legislativas y una planificación adecuada, que permitan el uso eficaz del personal y los medios de producción disponibles. No obstante, aún faltan suficientes conocimientos que demuestren la importancia de la producción orgánica de semillas.

La producción de semillas tiene tres bases fundamentales: (1) Disponibilidad de semilla certificada de la variedad que se desea producir; (2) Selección de una o varias zonas de producción apropiadas para la obtención de semilla con la calidad exigida por la legislación y el mercado, y (3) Disponibilidad de instalaciones para el manejo y almacenamiento de semillas (Terenti, 2004). La producción convencional de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack) observa estas disposiciones.

El origen genético de triticale procede del cruzamiento entre centeno y trigo duro (Vásquez y Béjar, 2002). El aprovechamiento agrícola de esta especie se debe al uso simultáneo como forraje y grano. En el primer caso, las plantas son expuestas al pastoreo por el ganado en la fase vegetativa, se permite el rebrote y después se cosecha el grano. Sin embargo, no todas las variedades de triticale son apropiadas para ambos propósitos (Royo, 1992). También se emplea en la industria harinera para elaboración de pan, galleta y sémola para consumo humano (López, 2006).

Por otro lado, la producción de fertilizantes nitrogenados (N) utiliza petróleo como fuente principal; sin embargo, las reservas de este hidrocarburo se agotan con rapidez y sus derivados producen contaminación ambiental intensa. Por lo tanto, se requiere otra alternativa para suministrar el N agrícola en el futuro inmediato, con carácter sustentable.

La sustentabilidad de la producción agrícola se ha enfocado en la utilización de material orgánico en su mayor parte, a la intervención de la mesofauna para contar con lombricomposta, y al empleo de bioinsecticidas, biofungicidas y biofertilizantes, entre otras alternativas. El concepto de biofertilización se origina y difunde con bacterias del género *Rhizobium* que, bajo simbiosis, fijan el N de la atmósfera edáfica y lo suministran a plantas de leguminosas (Carlson, 1990). De esta manera, la mayor cantidad de N en ecosistemas terrestres y acuáticos proviene de la fijación biológica de dicho nutriente (FBN) (Roesch et al., 2008). La integración de FBN a la producción de semillas iniciaría y mejoraría la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícolas, como el de triticale. A la relación biológica entre la raíz y las bacterias diazotróficas que realizan la FBN, se la conoce como asociación rizosférica o

endofítica (Montañez et al., 2008). Es el caso de *Azospirillum* (Lodewyckx et al., 2002).

Azospirillum se establece y alimenta en la raíz vegetal (El-Tarabily et al., 2009), suministra nitrógeno a la planta (Bashan y de-Bashan, 2010), y mejora el crecimiento o rendimiento de los cultivos bajo diversos ambientes y condiciones edáficas (Bashan et al., 2004). Además, sintetiza fitohormonas que promueven el crecimiento y cambios morfológicos y fisiológicos en la raíz de la planta (v.gr., resistencia a estrés), y micro-biocontrol (Correa et al., 2007). Esto resulta en un mejor aprovechamiento del agua y los nutrientes, y un incremento en el rendimiento (Dobbelaere et al., 2002) y productividad efectiva y consistente (Aravind et al., 2009). Especies vegetales que han sido beneficiadas por la biofertilización de *Azospirillum* incluyen al maíz (Rangel-Lucio et al., 2011); el trigo (Alamri y Mostafa, 2009), sorgo (Basaglia et al., 2003), *Pennisetum americanum* (L.) K. Shum (Tien et al., 1979), y la caña de azúcar (Sevilla et al., 2001).

Las micorrizas también pertenecen al grupo de biofertilizantes. Las micorrizas vesículo-arbusculares desarrollan la simbiosis más común entre los hongos del *filium Glomerycota* y la mayoría (ca. 80%) de las plantas terrestres (incluso las especies cultivadas: Smith y Read, 1997). La planta inoculada con micorrizas se beneficia de nutrientes de lenta movilidad como P, Cu y Z (Bolan, 1991; Burkert y Robson, 1994) y K (Marschner, 1995). Gupta et al. (2000) resumen las ventajas del ambiente edáfico de la asociación planta-hongo: mayor resistencia a disturbios (alta o baja temperatura; nivel alto de salinidad; pH alto o bajo); protección contra patógenos de la raíz; tolerancia a metales pesados tóxicos; mejor adaptación al trasplante, y mayor agregación del suelo.

Los biofertilizantes no resuelven la nutrición completa de la planta, pero funcionan apropiadamente como producto complementario. Su utilización puede disminuir hasta un 50% el uso de fertilizantes químicos (Gómez, 2010). Esto se debe a que por su condición biológica es posible un mayor y mejor aprovechamiento de las formas de nutrientes disponibles en la zona edáfica, y se reduce el impacto ambiental. Lo expuesto previamente permite una reducción significativa de los costos de producción.

Los productores mexicanos han comprendido la importancia de la biofertilización en sistemas de producción de cereales para alimento. Sin embargo, la producción orgánica y sustentable de semillas aun no ha sido abordada técnicamente. Por lo tanto, ésta sería la primera actividad necesaria para promover los sistemas de producción de semillas orgánicamente, como es el caso para triticale. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto combinado de la biofertilización y la fertilización química en algunos caracteres agronómicos y de producción, y de calidad de semilla en triticale. La hipótesis de trabajo fue que el crecimiento de la planta aumenta y la producción y calidad de semilla de triticale se incrementa, con ambas formas de fertilización. Los resultados obtenidos

permitirán contar con información científica y tecnológica que conduzca a lograr un manejo apropiado de la producción orgánica de semilla en triticale.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo otoño-invierno/2008-2009 en el campo experimental de la Coordinación de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) del Instituto Tecnológico de Roque (ITR), ubicado en el km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, Roque, Celaya, Guanajuato (20° 32' N, 100° 45' O, 1762 m.s.n.m.).

Conforme a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima es BS¹ hW (e), que corresponde a semicálido con temperaturas de 18 a 22 °C, y una media anual de 21,6 °C. La precipitación pluvial varía de 600 a 1000 mm anuales, con un promedio de 670,3 mm, donde la mayor parte ocurre en verano. Las heladas se inician al finalizar septiembre, y se establecen en octubre; aunque en ocasiones se manifiestan en abril, las intensidades máximas se presentan en enero, durante 10 a 16 días. El promedio anual con granizo es de 1 a 3 días.

En base a la clasificación de los suelos de la FAO-UNESCO (1970), modificado por la Dirección General de Geografía, el municipio de Celaya, Gto., tiene preponderantemente suelos del tipo Vertisol Pélico. Las características de los mismos son las siguientes: suelos arcillosos de coloración oscura, que presentan contracción y expansión; por esto se observan grietas profundas en algunas épocas del año, a menos que el suelo sea regado. Desarrollan un paisaje típico consistente en montículos y depresiones suaves, aunque también se encuentran inclinados.

El material genético consistió en tres variedades de triticale; dos de ellas pertenecientes al programa de fitomejoramiento y producción de semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: (1) AN-105 (de hábito intermedio, semi-tardío, porte intermedio, con excelente recuperación o rebrote), y (2) AN-31 (de hábito invernal, tardío, espiga barbada y excelente recuperación o rebrote después de cada corte o pastoreo) (Lozano et al., 2009). La tercer variedad, T5, de procedencia regional, es distribuida por la empresa comercializadora Semillas Berentsen. La siembra se hizo de forma manual el 27 de noviembre de 2008, depositando la semilla a chorrillo, de acuerdo a la estimación de cada densidad de siembra.

La fórmula de fertilización química fue 100-50-50 de N, P, K, utilizando como fuente urea, superfosfato triple y cloruro de potasio, respectivamente. La primera aplicación de la mitad de N y todo el P y K, se hizo con la siembra. La segunda mitad de N se distribuyó durante el macollamiento, y previo al primer riego de auxilio. En el caso de la fertilización química se utilizó urea como fuente de nitrógeno (46%), DAP como fuente de fósforo (46%), y KCl como fuente de potasio (50%).

Para la biofertilización se utilizó *Azospirillum brasilense* (50% del total), con una carga bacteriana mínima de 500 millones de bacterias/g, complementada de turba esterilizada (37,5%), Carbonato de Calcio (12,5%) y Carbosil Metil Celulosa como adherente. El biofertilizante también estuvo compuesto por 30000 esporas de *Glomus intraradicens* (60%) en turba, acompañada de suelo estéril (40%) y el adherente ya mencionado. Ambos biofertilizantes son elaborados y comercializados por Biofábrica Siglo XXI.

El estudio comprendió tres variedades (V): AN-31, AN-105 y T5; fertilización combinada en forma proporcional (F): 100-0, 75-25, 50-50, 25-75, 00-100, de fertilizante químico (nitrógeno) y biofertilizante, respectivamente, dos densidades de siembra (D): 100 y 125 kg/ha. Los tratamientos se distribuyeron bajo el esquema de un diseño de Bloques Completos al azar con 3 repeticiones, para un total de 30 tratamientos. Cada unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 5 m de longitud, separados 0,75 m uno del otro. Se consideró como parcela útil al surco central, con la finalidad de evitar el efecto de borde de las unidades experimentales vecinas.

Entre las variables consideradas se midieron (1) altura de planta (cm) con una cinta métrica, desde la base de la planta hasta la punta de la espiga utilizando una muestra de 20 plantas elegidas al azar por parcela útil. Posteriormente, se obtuvo el promedio como dato representativo de cada unidad experimental; y (2) longitud de espiga (cm) desde el último entrenudo que inicia la espiga hasta el final de la barba. Para ello se seleccionaron 20 espigas al azar por tratamiento y repetición, y luego se promediaron los datos por repetición.

La separación de la semilla de la espiga se logró con una trilladora estacionaria de motor de gasolina. La semilla obtenida se pesó en una balanza electrónica de precisión y permitió obtener la producción de semilla por metro lineal. La transformación a rendimiento se hizo posteriormente a t/ha.

Las características principales de calidad física de la semilla fueron el (1) peso de cien semillas (PS), y (2) peso específico o volumétrico (PV). Estas tareas se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Semillas de la DEPI-ITR.

El peso de semilla se obtuvo contando ocho repeticiones de cien semillas cada una, que se pesaron en una báscula electrónica de precisión.

El peso volumétrico se obtuvo de manera directa, después de colocar las semillas necesarias en el depósito del contador electrónico y digital, marca Seedbuo. Los resultados se expresaron en kg/hL.

Para todos los caracteres evaluados se hizo un análisis de varianza usando el procedimiento PROC ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS, 1999) ver. 8.1. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Previamente se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas e incidencia de valores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Tabla 1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza. Se observan diferencias altamente significativas entre variedades para altura de planta, producción de semilla, peso de 100 semillas y peso específico, y diferencias significativas para longitud de espiga. Esto significa que al menos una variedad responde de manera diferente. En la densidad de población se encontraron diferencias significativas en altura de planta y peso específico. En la fertilización se encontraron diferencias altamente significativas para producción de semilla y altura de planta, y diferencias estadísticas significativas en longitud de espiga, peso de 100 semillas y peso específico. Estos resultados indican que algún tratamiento de fertilización combinada juega un papel importante en la producción de semilla. En la interacción variedad por densidad (VxD) se encontraron diferencias significativas para rendimiento, longitud de espiga, peso de 100 semillas y peso específico, por lo que las variedades tuvieron diferentes respuestas a las densidades. En las interacciones dobles, la variedad por fertilización (VxF) fue significativa para longitud de espiga, y para densidad por fertilización (DxF) no se encontraron diferencias estadísticas para ninguna variable. En la interacción triple variedad por densidad por fertilización (VxDxF) sólo hubo expresiones estadísticas altamente significativas para altura de planta. El coeficiente de variación osciló entre 3,89 (para altura de planta) y 28,57 (para rendimiento).

En la Tabla 2 se muestra la prueba de comparación de medias para las variables en estudio. La variedad T5 fue la

que mostró mayor producción de semilla (8,56 t/ha), seguida por AN-31 con 7,50 t/ha. La variedad AN-105 presentó la producción más baja (3,24 t/ha). Este resultado se podría atribuir al potencial o constitución genética de cada una de las variedades empleadas (Lozano et al., 2009). La semilla de cereales es literalmente sencilla de producir. Sin embargo, no existe suficiente información para triticale que acredite esta afirmación. Al respecto, Besnier (1989) mencionó que la semilla mejorada tiene un valor agregado, ya que permite obtener mayor eficiencia productiva de los recursos, lo que hace la diferencia con un sistema de producción de granos.

La variedad AN-105 fue superior en altura de planta, la cual osciló entre 1,04 m en T5 a 1,13 m en AN-105 (Tabla 2). Esto tendría un impacto importante en la producción de forraje de triticale. Los resultados concuerdan con las afirmaciones de Lozano (2007), al señalar que la variedad AN-105 es un triticale forrajero (verdeo, corte o pastoreo) para los estados Mexicanos de Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Región Lagunera, sur de Nuevo León, Aguascalientes y El Bajío, y otras entidades del país con características climáticas similares.

Para longitud de espiga, AN-31 y T5 fueron estadísticamente similares ($p>0,05$) entre sí, con datos de 16,7 y 17,2 cm, respectivamente. En cambio, AN-105 fue quien mostró la mayor ($p<0,05$) longitud de espiga entre las 3 variedades (Tabla 2).

Para peso de 100 semillas (PS), al igual que la variable anterior, T5 y AN-31 fueron estadísticamente iguales ($p>0,05$) con un valor de 46,6 g para ambas variedades. En este caso,

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de triticale evaluadas con fertilización combinada. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Table 1. Mean squares of the analysis of variance for the study variables in triticale, evaluated with mixed fertilization. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Fuente de variación	G.L.	Rendimiento (t/ha)	Altura de planta (m)	Longitud de espiga (cm)	PS (g)	PV (kg/hL)
Variedad (V)	2	53,48 **	0,0540 **	10,2833 *	2583,8 *	10640,8 **
Densidad (D)	1	0,12	0,0333 **	0,0694	12,60	755,64 **
Fertilización (F)	4	2,75 **	0,0144 **	2,8687 *	36,80 *	116,92
VxD	2	2,30 *	0,0103	14,1147 *	39,50 *	830,96 **
VxF	8	1,28	0,0079	3,6345 *	7,30	128,11
DxF	4	1,53	0,0050	3,3175	8,40	78,57
VxDxF	8	0,76	0,0147 **	1,3270	11,50	87,51
Error	58	0,76	0,0018	1,5725	6,70	126,07
Total	89					
C.V (%)		28,57	3,89	7,25	6,32	8,05

G.L.: grados de libertad; *, **, significativo al 5 y 1% de probabilidad, respectivamente; C.V.: coeficiente de variación; PS: peso de 100 semillas; PV: peso volumétrico.

G.L.: degree of freedom; *, **, significant at the 5 and 1% probability level, respectively; C.V.: coefficient of variation; PS: weight of 100 seeds; PV: hectoliter weight.

la menor respuesta fue para AN-105 con 30,3 grs. Las variedades AN-31 y T5 presentaron semillas con mayor peso hectolítrico (72,25 y 70,21 kg/hL). Por otro lado, la variedad AN-105 fue superior ($p < 0,05$) en longitud de espiga, no así para rendimiento, peso de 100 semillas y peso específico; es decir, formó menor cantidad de semillas y más pequeñas. Esto significa que este cultivar ha sido seleccionado específicamente para rendimiento de forraje (Lozano et al., 2009). Al respecto, Solís et al. (2009) mencionaron que tanto el número de granos por espiga como el peso de grano de trigo determinan el rendimiento por unidad de superficie.

La producción de semilla no fue modificada estadísticamente ($p > 0,05$) respecto a la densidad de siembra (Tabla 3). No obstante la falta de diferencias estadísticas, los resultados son importantes agrónomicamente. Esto se debe a que el agricultor reduce los costos de producción por hectárea al comprar y sembrar menor cantidad de semilla. Por otro lado, la altura de planta y el peso de 100 semillas fueron afectados

ligeramente por este factor (Tabla 3). La longitud de espiga y peso hectolítrico no fueron modificados estadísticamente ($p > 0,05$) (Tabla 3) al incrementarse la densidad de siembra. Los resultados sugieren que la densidad de siembra apropiada para triticale bajo riego varía entre 600 y 800 espigas/m², mientras que para zonas de temporal se debe reducir de 400 a 600 espigas/m² (Royo, 1992). Mendoza et al. (2011) evaluaron cinco densidades de siembra, desde 50 hasta 150 kg/ha. Estos autores concluyeron que 125 kg/ha fue la mejor densidad para un buen rendimiento, germinación y vigor de semilla de triticale. En cebada, Gámez et al. (2007) encontraron que a medida que se incrementó el número de plantas por unidad de superficie se redujo el peso de 100 semillas y el rendimiento. Limón et al. (2010) recomendaron 120 kg/ha para obtener un rendimiento óptimo de avena; Turk et al. (2003) encontraron que la siembra de 120 kg/ha de cebada incrementó el rendimiento, y redujo el peso de grano y de 100 semillas.

Tabla 2. Comparación de medias de las características entre variedades de triticale evaluadas con fertilización combinada. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Table 2. Mean comparisons of the characteristics evaluated with mixed fertilization in triticale. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Variedades	Rendimiento (t/ha)	Altura de planta (m)	Longitud de espiga (cm)	PS (g)	PV (kg/hL)
AN-31	7,50 b	1,08 b	16,7 b	46,3 a	72,25 a
T5	8,56 a	1,04 c	17,2 b	46,6 a	70,21a
AN-105	3,24 c	1,13 a	17,9 a	30,3 b	55,86 b
Media	6,43	1,09	17,3	41,1	65,44
DMS (0,05)	0,21	0,02	0,65	1,33	2,74

PS: peso de 100 semillas; PV: peso volumétrico. Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente en la variable evaluada.

PS: weight of 100 seeds; PV: hectoliter weight. Means followed by the same letter within any column are not significantly different ($p > 0,05$) for the study variables.

Tabla 3. Promedio de las variables afectadas por la densidad de población de tres variedades de triticale evaluadas con fertilización combinada. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Table 3. Mean values of the variables measured on 3 varieties of triticale sown at two seed densities using mixed fertilization. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Densidad de siembra	Rendimiento (t/ha)	Altura de planta (m)	Longitud de espiga (cm)	PS (g)	PV (k/hL)
100 kg/ha	6,51 a	1,06 b	17,26 a	41,44 a	67,48 a
125 kg/ha	6,36 a	1,10 a	17,31 a	40,69 b	64,73 a
Media	6,43	1,09	17,29	41,06	66,10
DMS (0,05)	0,17	0,02	0,53	1,08	2,23

PS: peso de 100 semillas; PV: peso volumétrico. Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente en la variable evaluada.

PS: weight of 100 seeds; PV: hectoliter weight. Means followed by the same letter within any column are not significantly different ($p > 0,05$) for the study variables.

En la Tabla 4 se presentan las medias de las variables en estudio a través de la combinación de fertilización química *versus* fertilización orgánica. Tanto la fertilización química como la biofertilización fueron estadísticamente similares ($p>0,05$), con una producción de semilla de 5,67 y 5,73 t/ha, respectivamente. Las combinaciones posibles de fertilización química y orgánica superaron a la producción de semilla cuando solo se aplica el 100% fertilización química o 100% de biofertilizantes. Los rendimientos fueron superiores ($p<0,05$), y diferentes estadísticamente a las demás dosis de fertilización, cuando se usó la dosis combinada de 50% de fertilizante químico y 50% de biofertilizantes, con un valor de 7,70 t/ha. Esta tendencia ha sido divulgada entre las ventajas que se obtienen de la biofertilización de cultivos. Por ello, resultaría apropiado que el agricultor utilice estas combinaciones, no sólo para acceder a una mayor producción de semilla, sino también para reducir costos de producción. Esto se debe a que la dosis de biofertilizante por hectárea es más económica que la fertilización química. Así mismo, se disminuye el grado de contaminación del suelo y el ambiente. De-Bashan et al. (2007) mencionaron que la inoculación con micorrizas arbusculares resultó en un ahorro de 8 a 10 kg/ha de fósforo en arroz, trigo, cacahuate, soja y otros cultivos. Resultados de Caballero-Melado et al. (1992) derivados de la inoculación de cepas nativas, demostraron un incremento de 91% en la altura de plantas de tomate, acompañados de incrementos en el rendimiento. Abdel Monen et al. (2001) concluyeron que al bajar la dosis de fertilización química a un 50% y agregar *Azospirillum*, el maíz mostró un aumento de rendimiento equivalente a 2 t por encima del testigo. Los resultados obtenidos hasta el presente mediante el empleo de biofertilizantes en la producción agrícola son variables, pero en términos generales se pueden lograr aumentos que oscilan de 15 a 50%.

La mayor altura de planta se obtuvo al combinar 75% de biofertilizantes y 25% de fertilización química (1,11 m) y con 100% de biofertilizantes (1,12 m) (Tabla 4). En estudios previos se ha demostrado que la inoculación con *Azospirillum* promueve el crecimiento vegetativo de cereales (Kapulnik et al., 1983; Vose, 1983), uno de los dos propósitos que se requieren en la producción de triticale. Los resultados coinciden con Okon (1985) y Martin y Glaztle (1982), quienes mediante estudios de campo y laboratorio obtuvieron una buena respuesta en altura de las plantas al ser inoculadas con *Azospirillum*. Así mismo, Hartman (1999) mencionó que los microorganismos de efectos benéficos en las plantas pueden tener un potencial considerable como precursores de bioestimulantes, aumentando así el crecimiento natural de las plantas jóvenes. Este efecto es de interés cuando el ganadero se propone introducir el ganado en esta fase de crecimiento del cultivo de triticale.

La longitud de espiga fue estadísticamente superior cuando se aplicó la combinación de fertilización química y micorrizas en las proporciones de 50 y 50%, 25 y 75% y 0 y 100%, respectivamente. La mayor longitud de espiga (17,29 cm) se obtuvo cuando existió una combinación proporcionalmente igual a 50%. Estos resultados concuerdan con Díaz-Zorita y Fernández-Caniguia (2009) quienes obtuvieron un aumento en la longitud de espiga de 7 a 30% cuando inocularon la semilla de trigo con *Azospirillum*. Gómez (2010) estimó que el uso de biofertilizantes posibilita una reducción al 50% en el empleo de fertilizantes químicos.

El peso de 100 semillas osciló entre 38,6 (para el tratamiento de 100% de biofertilizantes) y 42,3 g (para el tratamiento de 50% de fertilización química:50% fertilización orgánica). Una respuesta similar se encontró para peso específico de la semilla, con un valor de 68,36 kg/hL por efecto de la combinación 50:50 (Tabla 4). Al respecto, Nezarat y

Tabla 4. Caracteres agronómicos y de calidad física de semilla al combinar biofertilizantes y fertilización química en triticale. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Table 4. Agronomic traits and of physical quality of sedes when combining biofertilization and chemical fertilization in triticale. Roque, Celaya, Gto., 2008.

Fertilización	Rendimiento (t/ha)	Altura de planta (m)	Longitud de espiga (cm)	PS (g)	PV (kg/hL)
100% FQ	5,67 b	1,07 b	17,28 b	41,5 a	64,85 a
75% FQ+25% B	6,48 ab	1,06 b	16,61 b	41,2 a	64,93 a
50% FQ+50% B	7,70 a	1,07 b	17,59 a	42,3 a	68,36 a
25% FQ+75% B	6,58 ab	1,11 a	17,16 a	41,8 a	66,57 a
100% B	5,73 b	1,12 a	17,51 a	38,6 b	65,82 a
Media	6,43	1,09	17,29	41,1	66,10
DMS (0,05)	0,28	0,027	0,83	1,71	2,00

FQ: fertilización química; B: biofertilizantes; PS: peso de 100 semillas; PV: peso volumétrico. Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente en la variable evaluada.

FQ: chemical fertilization; B: biofertilizers; PS: weight of 100 seeds; PV: hectoliter weight. Means followed by the same letter within any column are not significantly different ($p>0.05$).

Gholami (2009) encontraron que, con la inoculación de diversas cepas de *Azospirillum* en maíz, se mejoraron el peso de semillas, número de semillas por mazorca, peso seco de la semilla, vigor y germinación. Torofder y Hossain (1991) incrementaron el peso de mil granos con altas aplicaciones de nitrógeno. Villareal (1990) señaló las condiciones que necesitan las bacterias inoculadas en la planta para establecerse, y desarrollarse y actuar adecuadamente: primero tienen que encontrar un medio apropiado en la rizósfera, y luego deben competir exitosamente con una diversidad de bacterias nativas, entre las que deben sobresalir.

CONCLUSIONES

La variedad de triticale T5 fue la que mostró mayor rendimiento de semilla ($8,56 \pm 0,70$ t/ha). Los rendimientos no fueron modificados estadísticamente por la densidad de siembra = $6,51 \pm 0,03$ t/ha con una densidad de 100 kg/ha, y $6,36 \pm 0,03$ t/ha con 125 kg/ha. Cuando se usó la dosis de 50% de fertilizante químico más 50% de biofertilizantes los rendimientos fueron superiores y diferentes estadísticamente a las demás dosis de fertilización, obteniéndose $7,70 \pm 0,17$ t/ha. Las mayores alturas de planta se obtuvieron con la dosis de 75% biofertilizantes y 25% fertilización química ($1,11 \pm 0,02$ m), y con la dosis de 100% biofertilizantes ($1,12 \pm 0,02$ m). El valor más alto para longitud de espiga fue cuando se combinaron ambos fertilizantes al 50% cada uno ($17,29 \pm 0,18$ cm). Para la variable peso de 100 semillas se presentó un comportamiento similar en todos los tratamientos, a excepción del 100% de biofertilizante. El peso hectolitrico fue estadísticamente similar.

REFERENCIAS

- Alamri, S.A. y Y.S. Mostafa (2009). Effect of nitrogen supply and *Azospirillum brasilense* Sp-248 on the response of wheat to seawater irrigation. *Saudi Journal of Biology Science* 16: 101-107.
- Aravind, R., A. Kumar, S.J. Eapen y K.V. Ramana (2009). Endophytic bacterial flora in root and stem tissues of black pepper (*Piper nigrum* L.) genotype: isolation, identification and evaluation against *Phytophthora capsici*. *Letters of Applied Microbiology* 48: 58-64.
- Basaglia, M., S. Casella, U. Peruch, S. Poggiolini, T. Vameralli, G. Mosca, J. Vanderleyden, P. de Troch y M.P. Nuti (2003). Field release of genetically marked *Azospirillum brasilense* in association with *Sorghum bicolor* L. *Plant and Soil* 256: 281-290.
- Bashan, Y. y L.E. de-Bashan (2010). How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth. Chapter II. A Critical Assessment. *Advances in Agronomy* 108: 77-136.
- Berti, D.M.R., E.F. Wilckens, H. Hevia y A.L. Montecinos (2003). Influencia de la fecha de siembra y de la procedencia de la semilla en el rendimiento de capítulos de *Caléndula officinalis* L., durante dos temporadas en Chillan. *Agricultura Técnica* 63: 20.
- Besnier, R.F. (1989). Semillas. Biología y Tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Bolan, N.S. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134: 189-207.
- Burkert, B. y A. Robson (1994). 65Zn uptake in subterranean clover by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1117-1124.
- Caballero-Mellado, J., J. Onofre-Lemus, P. Estrada-de los Santos y L. Martínez-Aguilar (2007). The tomato rhizosphere an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest from agriculture and bioremediation. *Appl. Environ Microbiol* 73: 5308-5319.
- Carlson, P.S. (1990). Biología de la productividad de cultivos. AGT Editor S.A. México, D.F. 413 p.
- Correa, O.S., A.M. Romero, M.S. Montecchia y M.A. Soria (2007). Tomato genotype and *Azospirillum* inoculation modulate the changes in bacterial communities associated with roots and leaves. *Journal of Applied Microbiology* 102: 781-786.
- De-Baschan, I.E., G. Holguin, B.R. Glick y Y. Bashan (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas ambientales. En: Microbiología agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo. R. Ferrera-Cerato y A. Alarcón (eds). Editorial Trillas, México. 57 p.
- Díaz, E.L.F. y R.A. Ramírez (2008). Informe de Investigación Programa Piloto del Uso de Biofertilizantes en el cultivo de Cebada. CEBAJ-INIFAP, Celaya, Gto. Mexico. 25 p.
- Díaz-Zorita, M. y M.V. Fernández-Caniggia (2009). Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology* 4: 3-11.
- Dobbelaere S., A. Croonenborghs., A. Thys, D. Ptacek, J. Vanderleyden, P. Dutto, C. Labandera-Gonzalez, J.J. Caballero-Mellado, J.F. Aguirre, Y. Kapulnik, S. Berner, S. Burdman, D. Kadouri, S. Sarig y Y. Okon (2001). Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 871-879.
- Dobbelaere, S., J. Vanderlaeyden y Y. Okon (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Science* 22: 107-149.
- El-Tarabily, K.A., A.H. Nassar, G.E.S.J. Hardy y K. Sivasithamparam (2009). Plant growth promotion and biological control of *Pythium aphanidermatum*, a pathogen of cucumber, by endophytic actinomycetes. *Journal of Applied Microbiology* 106: 13-26.
- FAO-UNESCO. (1970). Clasificación de los Suelos. Organización de las Naciones Unidas. México. 280 p.
- Forsberg, R.A. y L.D. Reeves (1995). Agronomy of oats. En: The oat crop. R.W. Welch (ed.), pp. 223-244. Primera edición. Chaoman & Hall. Great Britain. 584 p.
- García, E. (1973). Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. México. Segunda Edición. Institución de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- Gámez, V.A.J., F.P. Gámez V., J.J. García R., M.R. Zamara D., S. Solano H. y M. Covarrubias (2007). Alina y Armida, nuevas variedades de cebada maltera en diferentes densidades y tipos de siembra. Memoria de la Segunda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. INIFAP. Guadalajara, Jal. México. 90 p.
- García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Para Adaptarlo a las condiciones de México. Segunda Edición. Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- Gómez A., N. (2010). Biofertilizante vs Fertilización Comercial en la Agricultura. El economista FIRA. Boletín Pecanero. Instrumento de Difusión Año 2 No.5. 1 de septiembre de 2010.

- Jacobsen, I. (1992). Phosphorus transport by external Hyphae of vesicular arbuscular mycorrhizas. *Mycorrhizas in Ecosystems*. Wallingford UK, pp.48-54.
- Kapulnik, Y., S. Saring., I. Nur y Y. Okon (1983). Effect of *Azospirillum* inoculation on yield of field grown wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 29: 895-899.
- Limón, O.A., E. Villaseñor M. y R.E. Espitia (2010). Estrategias de manejo para la producción de avena forrajera y grano. INIFAP. CIRCE, CE-CEVAMEX. Folleto Técnico No.39. 20 p.
- Lodewyckx, C., J. Vangronsveld, F. Porteous, E.R.B. Moore, S. Taghavi, M. Mezgeay y D. van der Lelie (2002). Endophytic bacteria and their potential applications. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21: 583-606.
- López, A. (2006). Caracterización de la harina y almidón de triticale (*Triticosecale* Wittmack) para su evaluación para panificación. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto. Mex.
- Lozano, A.J. (2007). Triticale forrajero para verdeo, corte y/o pastoreo, UAAAN. Folleto Técnico No. 3. Saltillo, Coahuila, México. 30 p.
- Lozano, A.J., V.M. Zamora-Villa, L. Ibarra-Jiménez, S.A. Rodríguez-Herrera, E. de la Cruz-Lázaro, M. de la Rosa-Ibarra (2009). Análisis de la interacción genotipo ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (*X triticosecale* Wittm.). *Universidad y Ciencia, México* 25: 81-92.
- Mad Sanders, F.E. y P.B. Tinker (1973). Phosphate flow into mycorrhizal root. *Pesticides Science* 4: 385-395.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. edition. Academic Press. London. 889 p.
- Martin, P. y Glazte (1982). Mutual influences of *Azospirillum* spp. and grass seedlings. En: W. Klingmuler (ed.), pp. 108-120. *Azospirillum: genetics, physiology, ecology*. Birkhauser, Basel.
- Montañez, A., C. Abreu, R. Paul, P.R. Gill, G. Hardarson y M. Sircardi (2008). Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by ¹⁵N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. *Biology and Fertility of Soils* 45: 253-263.
- Morales B., J. (2008). Uso de Biofertilizantes en la Agricultura Morelense. Asia Agro XXI Publicación de Asesoría Integral Agropecuaria y Administrativa, S.A de C.V. Mexico. 85 p.
- Okon, Y. (1985). *Azospirillum* as a potencial inoculant for agriculture. *Trends in Biotechnology* 3: 223-228.
- Rangel-Lucio, J.A., M.N. Rodríguez-Mendoza, R. Ferrera-Cerrato, J.Z. Castellanos-Ramos, R.M. Ramírez-Gama y E. Alvarado-Bárceñas (2011). Afinidad y efecto de *Azospirillum* sp. en maíz. *Agronomía Mesoamericana* 22: 269-279.
- Roesch, L.F.W., F.A.O. Camargo, F.M. Bento y E.W. Triplett (2008). Biodiversity of diazotrophic bacteria within the soil, root and stem of field-grown maize. *Plant and Soil* 302: 91-104.
- Royo, C. (1992). El triticale base para el cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa.
- Sanders, F.E y P.B. Tinker (1973). Phosphate flow into mycorrhizal root. *Pesticide Science* 4: 385-395.
- SAS Institute Inc. (1999). SAS/STAT user's guide. Version 8.1. Cary, NC, USA. 359 p.
- Sevilla, M., R.H. Burreis, N. Gunapala y C. Kennedy (2001). Comparison of benefit to sugarcane plant growth and ¹⁵N₂ incorporation following inoculation of sterile plants with *Acetobacter diazotrophicus* wild-type and Nif₂ mutant strains. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 14: 358-366.
- Solis, A. Salazar, H. Villaseñor E., E. Espitia, G. Fuentes, T. Cervantes, y A. Ramírez (2001). Formación de variedades de trigo grupo I, II, III, V para la región de El Bajío, México. Diciembre 1995-noviembre 1996. 139 p.
- Solis, M.E., S.A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo B., O.A. Grageda C., M.A.C Vuelvas C., J.T Días de León., J.L.A. Aguilar, A.R. Ramírez, J.S.R Narro, M.A. Bujanos M., A.J Marín y R.M. Peña (2007). Producción de trigo de riego en el Bajío. INIFAP. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. Folleto técnico No.3. 94 p.
- Terenti, O.A. (2004). Calidad de semilla, que implica y como evaluarla. E.E.A. INTA San Luis. *Informativo Rural* 1: 1-3.
- Tien, T.M., M.H. Gaskins y D.H. Hubbell (1979). Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and Environmental Microbiology* 37: 1016-1024.
- Torofder, K.G.S. y M.A. Hossain (1991). Effect of nitrogen and seed rate on the yield of barley under rainfield condition. *Annals of Bangladesh Agriculture* 1: 47-49.
- Turk, M.A., A. Rahman, M. Al-Tawaha, O. Nikus y M. Rifaee (2003). Response of six-row barley to seeding sate with or whitout Ethrel spray in the absence of moisture stress. *International Journal of Agriculture and Biology* 5: 416-418.
- Vásquez, S. y M. Béjar (2002). Fenología del triticale (*X Triticosecale* Wittmack) en Salta, Chihuahua. México, 35 p.
- Villareal, R.M. (1990). Aislamiento y evaluación de *Azospirillum* sp. por afinidad con trigo (*Triticum aestivum* L.). *Agrociencia serie Agua-suelo-clima* 29: 837-850.
- Villarreal, R.M., R. Ferrera-Cerrato, V. Volke H. y A. Hernández S. (1990). Aislamiento y evaluación de *Azospirillum* sp. por afinidad con trigo (*Triticum aestivum* L.). *Agrociencia* 1: 183-198
- Vose, P.B. (1983). Developments in nonlegumes N₂ fixing systems. *Canadian Journal of Microbiology* 29: 837-850.