

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO EN CENTENO (*Secale Cereale* L) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE FERTILIZACIÓN EN EL ESTADO DE SONORA, MÉXICO

YIELD AND GRAIN QUALITY IN RYE (*Secale Cereale* L) UNDER DIFFERENT FERTILIZATION CONDITIONS IN THE STATE OF SONORA, MEXICO

Juan Pedro López Córdova¹, Edgar Omar Rueda Puente², Juan Manuel Vargas López¹, Francisco Javier Wong Corral¹ y Guadalupe Amanda López Ahumada^{1*}

¹ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

² Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, Carretera Bahía de Kino, Km. 21. Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

En la zona árida del noroeste de México, el cultivo del centeno no se encuentra establecido, pero hay un gran interés de sembrarlo, debido a que ha aumentado su demanda, principalmente por sus propiedades nutricionales benéficas en la salud; en personas diabéticas, problemas de obesidad, cardiovasculares entre otras, además de que sería un excelente cereal secundario por lo que se pronostica una importación en los próximos años y por ello, es necesario ampliar el conocimiento en materia agronómica, para encontrar las condiciones para obtener un buen rendimiento, en el estado de Sonora. El objetivo del presente estudio consistió en determinar la factibilidad del cultivo de centeno considerando dosis de fertilización nitrogenada en la región agrícola de la Costa de Hermosillo, Sonora, evaluando el rendimiento y sus componentes de calidad de grano. El trabajo de investigación se desarrolló en el municipio de Hermosillo, Sonora. La fecha de siembra fue del 15 de enero al 15 de mayo, durante el ciclo invierno-primavera del 2017. El experimento se estableció bajo riego por goteo. La variedad de centeno evaluada se denomina como "Criollo Tlaxcala". Los tratamientos de fertilización con N consistieron en: 1) Testigo 0 kg ha⁻¹, 2) 80 kg ha⁻¹ y el 3) 150 kg ha⁻¹. El experimento se estableció con un diseño en bloques al azar. Las determinaciones que se realizaron fueron: análisis de suelo y agua, rendimiento de grano, peso de 1000 granos, peso hectolítrico, número de espigas, biomasa a madurez fisiológica, grados días calor, etapas fenológicas y contenido de proteína en grano, además se consideraron los datos meteorológicos. Los resultados indican que conforme aumenta la dosis de fertilización, ésta influye significativamente, en el rendimiento y calidad de grano. El contenido de proteína fue más alto en los 3 niveles de fertilización comparados con los valores reportados en investigaciones y a nivel comercial en otros países.

Palabras clave: cereales secundarios, centeno, proteína

ABSTRACT

In the arid zone of northwestern Mexico, rye cultivation is not yet well established, however, because of an increasing demand mainly due to many health and nutritional benefits this cereal may offer to diabetic, obesity and cardiovascular disease patients, there is a great agronomical interest for this cereal. In addition, this is such an excellent secondary cereal that large imports are predicted in the next years. For that reason, it is necessary to broaden the knowledge on agronomical issues that may lead to find optimal rye growing conditions to achieve better yields in the state of Sonora. The objective of this study was to determine the feasibility of rye cultivation in the agricultural region of Sonora, investigating the effect of fertilization with nitrogen species on, both, yield and grain quality. The research work was carried out in Hermosillo, Sonora. The sowing period was from January 15th to May 15th, during the Winter-Spring cycle of 2017. The experiment was established under drip irrigation. The rye variety evaluated was classified as "Criollo Tlaxcala". Fertilization treatments consisted of: 1) control without added N 0 kg ha⁻¹, 2) 80 kg ha⁻¹ and 3) 150 kg ha⁻¹. The experiment was performed using a random block design. The variables evaluated were: Grain yield, weight of 1000 grains, hectoliter weight, number of spikes, biomass and grain protein content. Results showed significant positive values in yield, grain quality, biomass, outstanding grain protein content.

Analyses that were carried out were: chemical analysis of soil and water, grain yield, 1000-grain weight, hectoliter weight, number of spikes, biomass and physiological maturity, heat degree days, phenological stages and grain-protein content; in addition, meteorological data was taken into account. Results indicate that, as fertilizing doses increase, significant changes were observed in grain yield and quality. Protein content was found to be higher in all 3 levels of fertilization compared with previous scientific reports as well as with values from commercial sources from other countries.

Keywords: Secondary cereal, rye, protein

INTRODUCCIÓN

La demanda de cereales ha crecido con mucha más rapidez que la producción y es probable que aumente la dependencia por las importaciones. Se considera que en el año 2030, los países en desarrollo podrían importar anualmente 265 millones de toneladas de cereales, es decir, el 14 por ciento de su utilización. El consumo de cereales secundarios ha estado creciendo rápidamente, impulsado sobre todo por el uso creciente como alimento en los países en desarrollo. En un futuro, su consumo puede crecer con mayor rapidez que los cultivos tradicionales como arroz, trigo y maíz (Michalska *et al.*, 2008, FAO, 2015). México resalta en los pronósticos globales en importaciones de cereales secundarios principalmente de centeno; estará aumentando sus importaciones en un 15 %, lo que significa 23.8 millones de toneladas, entre 2015/16 y 2024/25 (USDA, 2015). Además que desde el punto de vista nutricional las proteínas de centeno están reconocidas ser superiores a las del trigo y otros granos de cereal, debido al mejor balance de aminoácidos esenciales y esto es por la más grande cantidad de lisina (21.2g/100 g de nitrógeno total), comparado con las de trigo que cuenta con una cantidad de 17.9g/100g de nitrógeno total (Arendt y Zannini, 2013).

Las zonas áridas son de las áreas más importantes de producción agrícola a nivel mundial, dentro de las características de estas áreas son la indisponibilidad del recurso agua, altas y bajas temperaturas e intrusión salina, entre otras (Mazuela, 2013; Martínez *et al.*, 2016 y Andrade *et al.*, 2017). El 60% de los alimentos a nivel mundial se producen en zonas áridas. En la República Mexicana, una de las zonas de relevancia en la producción de alimentos, es el noroeste de México, que está conformado por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua (Martínez *et al.*, 2016 y Andrade *et al.*, 2017). La fertilización nitrogenada es de los factores más importantes en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de cereales. La disponibilidad de N para la planta es indispensable por ser un componente básico de las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal. Además, hay que considerar que el N, es un elemento indispensable en la fotosíntesis de las plantas para que fijen el carbono y que se produzcan rendimientos que sean económicamente aceptables. (Ballesteros-Rodríguez *et al.*, 2015). En el noroeste de México, se aplican grandes cantidades de fertilizantes químicos a los suelos para compensar la deficiencia de N y poder incrementar los rendimientos de todos los cultivos, desafortunadamente, el uso excesivo y continuo de estos fertilizantes incrementa la salinidad, afectando las propiedades físicas y químicas del suelo, que en su conjunto alteran las actividades microbianas que podrían ser benéficas para los cultivos (Renganathan *et al.*, 2018). La búsqueda de cereales secundarios alternativos con propiedades nutricionales benéficas para el consumo humano como el centeno, es de suma importancia sobre todo cuando se trata de producirlos en ambientes áridos salinos como lo es el Noroeste de México y que existen factores adversos como condiciones edáficas

y climáticas que merman la productividad de los cultivos (Stoskopf, 1985; Francois, 1989; Murillo *et al.*, 2001; Liukkonen *et al.*, 2000; Bushuk, 2004).

En la zona árida del noroeste de México, está el interés de establecer el cultivo del centeno y es necesario ampliar el conocimiento en materia agronómica, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad del cultivo de centeno con diferentes dosis de fertilización nitrogenada en la fecha de siembra de Invierno-Primavera 2017, en la región agrícola de la Costa de Hermosillo, Sonora, México; evaluando el rendimiento y componentes de calidad de grano.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del sitio experimental o área de estudio

El trabajo de investigación se desarrolló en el campo experimental de la escuela de agricultura y ganadería de la Universidad de Sonora que se localiza con las coordenadas (29°00'46.2" latitud Norte, 111°08'03.1" latitud Oeste a 146 msnm) con un clima subtropical árido semicálido (INIFAP, 2017), con precipitación y temperatura media anual de 320.8 mm y 23.1 °C, respectivamente. El área experimental se estableció en un suelo con textura franco arenosa con una textura del suelo que se caracteriza por un contenido de 49.08% de arena, 2.12% de limo y 18.8% de arcillas. La variedad evaluada se denomina como Criollo Tlaxcala donada por una asociación agrícola de tlaxcala, México. La fecha de siembra fue el 15 de enero durante el ciclo invierno-primavera 2017. El experimento se estableció bajo un sistema de riego por goteo. La frecuencia y duración de riegos durante todo el ciclo vegetativo, estuvo bajo la metodología de acuerdo con Ottman, 2008; utilizando para ello el coeficiente de cultivo (Kc) en cada una de las etapas fisiológicas de la planta tomando en cuenta la evapotranspiración potencial que proporciona la estación climática. Generando una lámina total de 40 cm. Previo a la siembra, se obtuvieron muestras de suelo del sitio de estudio para determinar las condiciones físico-químicas del suelo, como son clase textural, densidad aparente, materia orgánica, pH (MO, %), conductividad eléctrica (C.E.), nitrógeno total (N-NO₃⁻), fósforo (P-PO₄⁻), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na); todos en partes por millón. La preparación del suelo se realizó mecánicamente con un barbecho y un posterior pase de rastra antes de la siembra, El método de siembra se realizó de manera manual y al chorrillo, con una dosis de 120 kg ha⁻¹. Los tratamientos de fertilización consistieron en: Testigo sin agregado de N, 1) 0 kg ha⁻¹, 2) 80 kg N ha⁻¹ y 3) 150 kg N ha⁻¹; los fertilizantes fueron aplicados fraccionadamente en la etapa fisiológica de embuche (70%) y en la floración-antes (30%); la fuente utilizada fue la de nitrato de amonio (33N-03P-00K). Cabe indicar que al momento de la siembra se aplicaron en todos los tratamientos 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P) utilizando el fosfato mono amónico (12N-61P-0K). Se realizó un control de malezas manual del cultivo para evitar competencia por el N utilizado. No se registró presencia de plagas y enfermedades durante todo el periodo del ciclo vegetativo.

La cosecha fue de forma manual con hoz en la etapa a madurez comercial, depositando el material en costales de polipropileno debidamente etiquetado para cada parcela experimental, posteriormente se utilizó una trilladora mecánica con flujo de aire variado, ya limpió el grano de centeno se colocó en bolsas de plástico de 30 x 40 cm con su respectivo etiquetado.

Las variables evaluadas durante el experimento fueron:

Rendimiento de grano.

Se calculó determinando el peso de la semilla cosechada (g) dividiéndolo entre la superficie cosechada (m²) expresado en (t ha⁻¹)

Biomasa a madurez fisiológica.

Se determinó utilizando una rozadera; el corte de la planta se hizo aproximadamente a 5 cm de la superficie del suelo en los dos surcos centrales de cada unidad experimental con repeticiones de 1m², la fitomasa fue colocada en bolsas de 55 x 70 cm de poliuretano, el material cortado se pesó en una báscula OHAUS modelo CD11 y se calculó el rendimiento de biomasa a madurez fisiológica en toneladas por hectárea (t ha⁻¹).

Peso hectolítrico

Primeramente, se estandarizó la muestra utilizando un homogenizador (modelo Boerner 34, Seedburo Equipment Co. IL, USA) posteriormente se pesó la muestra en una balanza analítica (modelo 8850, Seedburo Equipment Co. IL, USA) reportándose el valor en (kg/hL) siguiendo la metodología 55-10.01 de la AACC, (1995).

Peso de 1000 granos

Se determinó con 4 réplicas de 100 granos, las cuales se promediaron y multiplicaron por 10, fueron medidos en una balanza analítica (0.0001 g) (OHAUS, modelo AR N° 2140. Ohaus Corp. PinBrook, N. J. EE.UU). Su peso se registró en gramos (g)

Número de espigas

Se contó el número de espigas en una hilera de 2 metros lineales por tratamiento y repetición.

Contenido de humedad

La determinación de esta variable se realizó de acuerdo a la metodología 925.10 de la AOAC, (1990).

Contenido proteico

Se determinó de acuerdo con el procedimiento de combustión del método de Dumas utilizando un determinador de nitrógeno LECO, modelo FP528, USA con la metodología 46-13 de AACC (2000). El valor obtenido de nitrógeno se multiplicó por el factor de conversión de 6.2 (Wrigley *et al.*, 2010).

Etapas fenológicas

Las etapas fisiológicas evaluadas en el presente estudio se registraron en días calendario. Las variables medidas fueron:

1. Días a emergencia días después de la siembra (DDS), aparición de la primera hoja al menos 50% de las plántulas en la parcela DDS
2. Amacollamiento (AM), aparición del primer amacollo en 50% de las plántulas de la parcela DDS
3. Embuche (EM) en 50% de las plantas DDS
4. Espigamiento (ES), donde el 50% de las espigas estuvieran expuestas DDS
5. Antesis (AN), donde se expusieron las anteras de la parte media de la espiga en 50% de las espigas DDS
6. Madurez fisiológica (MF) cuando un 50 % de plantas perdió el color verde característico en un 80 % de sus hojas, tallos y espigas en la parcela DDS, según Solis *et al.* (2004) utilizando también la escala de Zadoks *et al.*, (1974).

Grados días calor (GDC)

Se calcularon los grados días de crecimiento (GDC) o tiempo térmico (TT) transcurridos desde la siembra hasta madurez comercial, para estimar la duración de las distintas etapas fenológicas (Ma y Smith., 1992), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_{ai} - T_b)$$

Donde T_{ai} representa el promedio de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire y T_b a la temperatura base en donde la planta detiene su crecimiento, que por lo general la mayoría de cereales tienen un valor de 0 °C (Kenich y Halloran, 1996; Cao y Moss, 1989)

Datos meteorológicos

Los datos de precipitación pluvial y temperaturas máximas y mínimas del aire durante el desarrollo del experimento se tomaron de una estación automática marca VAISALA modelo (WXT510), ubicada aproximadamente a 20 metros de distancia del lugar en donde se encontraba la siembra experimental. Los datos de las temperaturas máximas y mínimas del aire durante el experimento fueron registrados en una base de datos para su posterior uso.

Diseño y análisis estadístico

El experimento se estableció con un diseño bloques al azar con cuatro repeticiones, La parcela experimental constó de 2 hileras con 15 metros de longitud separados a 1 m entre hilera, fueron sembrados a doble hilera. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). La prueba de Tukey se utilizó para analizar las diferencias entre las medias de tratamiento específicos. Se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015) para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo

Con respecto a las propiedades físico-químicas del suelo, tuvo una clase textural clasificada como franco (franco arenosa), con un pH de 7.2%, MO de 1%, 35 kg ha⁻¹ de N, 21.67ppm de fósforo y 589 ppm de K, según la norma oficial NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), tiene una clasificación como neutro, con un nivel de materia orgánica bajo, con altos niveles de fósforo y potasio (Tabla 1).

Rendimiento de grano

Los resultados de la Figura 1 señalan que se obtuvo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tres niveles de fertilización. Por lo tanto, el rendimiento de grano aumentó a

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de suelo y agua del área agrícola experimental.

Table 1. Physicochemical properties of soil and water in experimental agricultural area.

Variable	Valor
pH	7.2
Conductividad Eléctrica	1.21
Materia Orgánica (%)	1
N-NO ₃ - (ppm)	18.35
P-PO ₄ - (ppm)	21.67
Potasio (ppm)	589
Calcio (ppm)	3772
Magnesio (ppm)	682
Sodio (ppm)	569

medida que incrementó la cantidad de nitrógeno desde el control hasta 150 (kg ha⁻¹). La respuesta a las aplicaciones de nitrógeno fueron significativas $p \leq 0.05$, por consiguiente, el tratamiento 150 kg ha⁻¹ (N) presentó un rendimiento de (2240 kg ha⁻¹) siendo los mayores en contraste con el testigo de (1672 kg ha⁻¹) respectivamente. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Rustam y Yasin, (1991) y Bakhsh *et al.*, (1999) que informaron que al aumentar el nivel de nitrógeno, el rendimiento de grano de trigo también se incrementó. Los rendimientos en todos los tratamientos evaluados fueron superiores a los obtenidos por Murillo *et al.*,

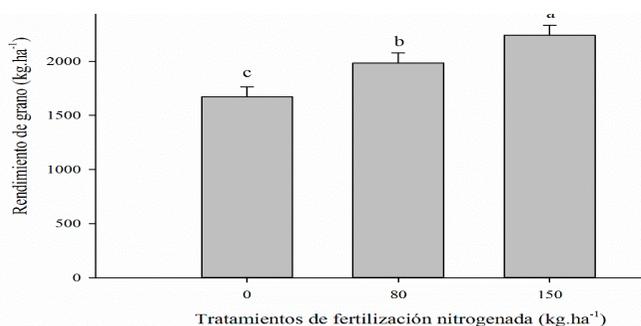


Figura 1. Efecto de la dosificación del nitrógeno sobre rendimiento de grano.

Figure 1. Effect of nitrogen dosification on grain yield.

(2001). Donde estos autores trabajaron con líneas de centeno en Baja California Sur y obtuvieron una media general de 1.0 t ha⁻¹. Además en los resultados del SIAP, (2017) donde la media de rendimiento en centeno para grano es de 1.2 t/ha

Biomasa a madurez fisiológica

Los resultados en la Figura 2 muestran que los tratamientos con una dosificación de 150 kg ha⁻¹ (N), la producción de biomasa a madurez fisiológica fue la más alta ($P < 0.001$) con (11670 kg/ha). El incremento en la producción de biomasa en los cultivos de centeno y trigo se ha observado durante diversas investigaciones que corresponde con un aumento en los niveles del nutriente nitrógeno inorgánico presentes en la propiedades edafológicas (Balkcom *et al.*, 2011).

Por otra parte, biomasa presentó una regresión positiva ($p \leq 0.05$) con la variable rendimiento de grano ($r^2=0.74^*$); estas relaciones se han presentado en diversas investigaciones, como Abeledo *et al.*, (2003) donde encontraron que los resultados de biomasa a madurez fisiológica tuvieron una buena correlación con rendimiento de grano en trigo, por otra parte Calderini *et al.*, (1999) menciona que el aumento del rendimiento del grano se debe a un incremento de biomasa, y sostiene que en un futuro incrementos mayores en rendimiento de grano posiblemente se logren con aumentos en la biomasa.

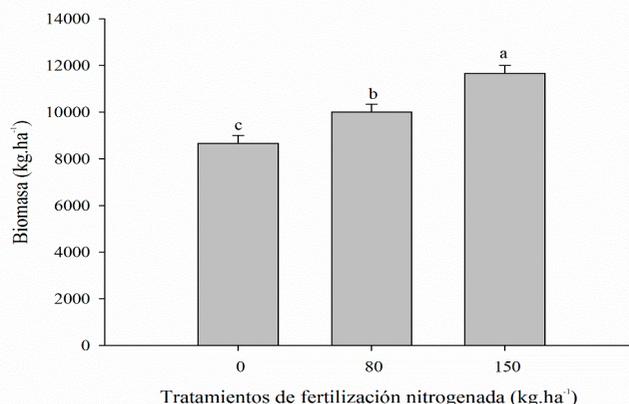


Figura 2. Efecto del nitrógeno sobre el componente de biomasa kg ha⁻¹

Figure 2. Effect of nitrogen on biomass component kg ha⁻¹

Peso de mil granos y peso hectolítrico

En las Figuras 3 y 4, se describe la relación del peso de mil granos y peso hectolítrico con la fertilización nitrogenada, este último factor no presentó una significancia ($p > 0.05$) en ambas variables físicas del grano; por lo tanto, no se observó tampoco un efecto en los tres niveles de fertilización, lo que nos indica la estabilidad fenotípica para estas características físicas del grano de centeno. Estos resultados, reafirman la explicación de Mellado *et al.*, (2008), donde indica que la aplicación de nitrógeno con tan solo 50 kg ha⁻¹ mejora

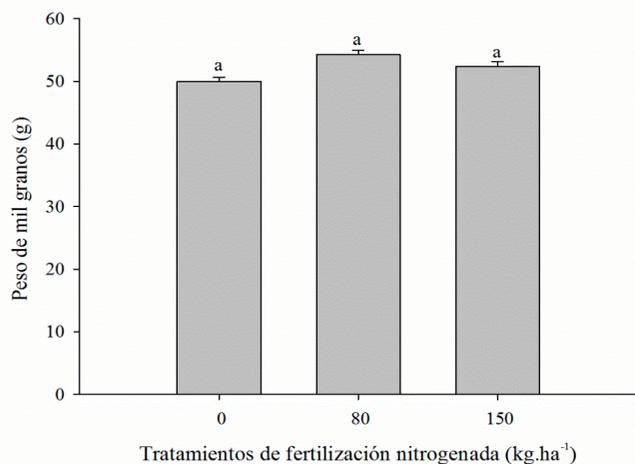


Figura 3. Efecto de la dosificación del nitrógeno sobre el peso de mil granos.

Figure 3. Effect of nitrogen dosification on 1000-grains weight.

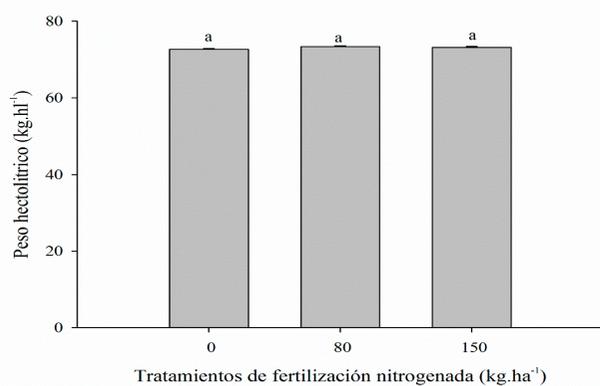


Figura 4. Efecto del nitrógeno sobre el peso hectolitrico kg hl⁻¹

Figure 4. Effect of nitrogen on hectoliter weight kg hl⁻¹

el peso hectolítico de centeno en 1 kg hL⁻¹ y dosis mayores a este nutriente no hicieron variar significativamente esta característica.

Número de espigas

El número de espigas por metro cuadrado mantuvo un efecto positivo promedio a medida que se incrementaba las dosificaciones del fertilizante nitrogenado, observando en la Figura 5, la dosificación de 150 kg ha⁻¹ presentó la mayor cantidad de espigas promedio con 197.75 espigas por metro cuadrado. Esto se confirma con Langer y Liew, (1973), evaluando los efectos de la variación en la suplementación del nitrógeno aplicado a diferentes etapas del cultivo en trigo, revelaron que el número de espigas por metro cuadrado se aumenta con el incremento de nitrógeno aplicado al cultivo, produciendo a su vez un número mayor de hojas y, por lo tanto, afectando al rendimiento de grano.

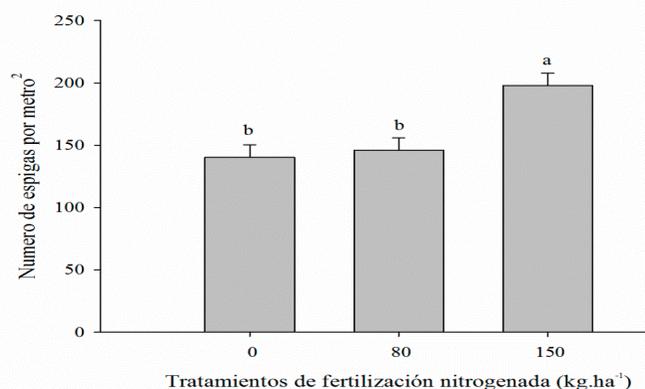


Figura 5. Efecto del nitrógeno sobre el número de espigas por metro cuadrado.

Figure 5. Effect of nitrogen on the number of spikes per square meter

Humedad

El contenido de humedad en el grano fue de $9.66\% \pm 0.45$, encontrándose dentro de los valores reportados; la humedad del grano de centeno, debe ser menor a 14%; cuando va ser almacenado menos de 12% (Weipert, 1996). Mellado *et al.*, 2008; reporta un valor de humedad de 10.24%.

Contenido Proteína

El nitrógeno no afectó significativamente la cantidad de proteína del grano (Figura 6). La interacción entre el cultivar y las tres dosis de nitrógeno no fue considerablemente significativa $p < 0.05$. De igual manera se observó un contenido máximo (17.05%) de proteína con la dosis de (150 kg ha⁻¹), el contenido mínimo de proteína de grano (16.2%) se presentó con la dosis (0 kg ha⁻¹). La obtención de un alto valor de proteína en el tratamiento testigo (0 kg ha⁻¹) podría obedecer a la alta concentración de nitrógeno inorgánico presente en el perfil del suelo (18.35 mg kg⁻¹ de suelo), lo que en teoría debe asumirse en una cantidad de 70 kg de

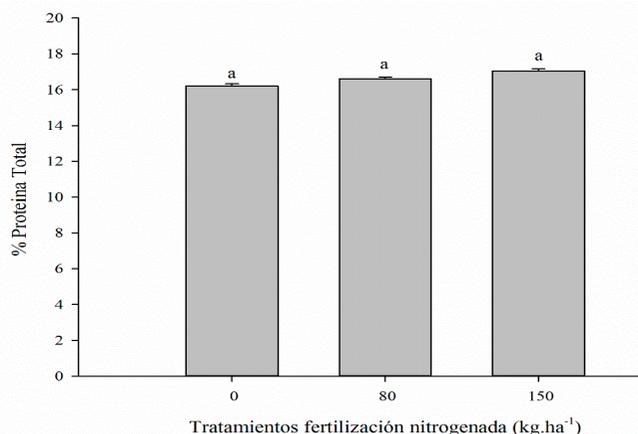


Figura 6. Efecto de la dosificación del nitrógeno sobre el contenido de proteína.

Figure 6. Effect of nitrogen dosification on protein content.

N disponible al momento de la siembra (Castellanos *et al.*, 2000). Sin embargo, los contenidos de proteína fueron más altos que los reportados por otros autores como Shewry, 2006, quien reporta un rango de 6.5 a 14.5% y del 11.2-15.8% reportado por Nyström *et al.*, 2008.

Condiciones climáticas

En la fecha de siembra (15 enero al 15 de mayo del 2017), la temperatura media en todo el ciclo fue de 20 °C. La temperatura máxima promedio correspondió en 30 °C y la mínima, con un promedio de 11 °C. La incidencia de precipitación en todo el periodo de siembra se presenta en la

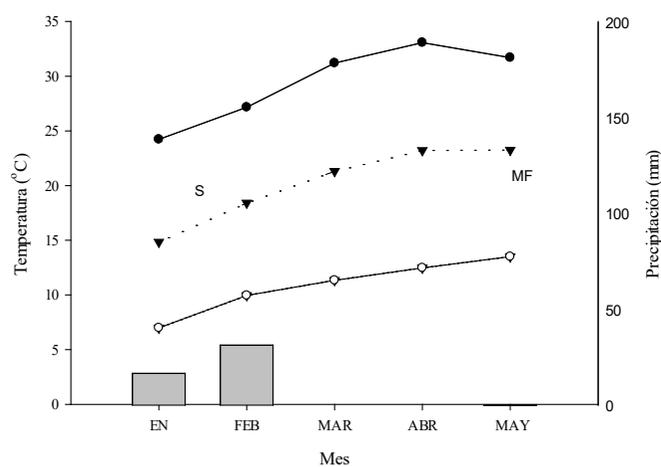


Figura 7. Precipitación pluvial, temperaturas (oC) máximas y mínimas promedio mensuales, 15 de enero 2017 al 06 de mayo 2017. S= siembra MF=madurez fisiológica.

Figure 7. Rainfall, average monthly maximum and minimum temperatures (°C), January 15, 2017; to May 6, 2017. MF = physiological maturity.

Figura 7.

Fenología del centeno

En cuanto al tiempo térmico o (GDC), la representación de las fases fenológicas hasta madurez comercial en la fecha de siembra se encuentran representada en la Tabla 2. Desde la siembra hasta la etapa de amacollamiento obtuvo una duración de 38 días con 630 GDC, seguido de la etapa de embuche con 53 DDS y 270 GDC, continuando hasta la etapa de espigamiento con 60 DDS y 157 GDC, para después entrar a la etapa de antesis con 70 DDS y 236 GDC, y por último completar su ciclo en madurez fisiológica con 112 DDS y 987 GDC. La demanda total del período térmico del cultivo a Madurez fisiológica fue de 2274 GDC y 112 DDS. Estos requerimientos térmicos se comparan con los de triticale que fueron de 2137 GDC y 2307 GDC en dos ciclos experimentales (Ballesteros *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

Los resultados arrojaron que la variedad de centeno evaluada como Criollo Tlaxcala en la fecha de siembra establecida del 15 de enero, al 15 de Mayo del 2017; establecida con un sistema de riego por goteo; al aumentar la dosis de

Tabla 2. Requerimientos térmicos y duración en días calendario de las etapas fenológicas del cultivo de centeno.

Table 2. Thermal requirements and duration in calendar days of the phenological stages of rye culture.

	AMA	EMB	ESP	ANT	MF	TOTAL
GDC	629	269	156	235	985	2274
DDS	38	53	60	70	112	112

GDC: Grados días de crecimiento, DDS: Días después de siembra, AMA: Amacollamiento, EMB: Embuche, ESP: Espigamiento, ANT: Antesis, MF: Madurez fisiológica.

GDD: Growing degree days, DDS: Days after sowing, AMA: tightrope EMB: Embed,

ESP: spiking ANT: Anthesis, MF: Physiological maturity.

fertilización de 0 a 150 kg ha⁻¹, muestra valores significativos positivos en la variable de rendimiento, de calidad de grano y biomasa. Asimismo, el contenido de proteína obtenido bajo las condiciones propuestas, supera a aquellos reportados en diferentes países donde se dedican a la producción de centeno. Lo más importante es que tomando en cuenta la temperatura, mínima y máxima (8 a 20°C) donde se sembró el grano de centeno y de la temperatura mínima y máxima (11 a 30°C) donde se sembró se obtuvo un buen rendimiento; considerando que el grano de centeno se siembra en clima frío. Se recomienda que en posteriores estudios, factores relacionados con fechas de siembra y condiciones limitantes del recurso agua, aunado al factor salinidad, deban ser estudiados para ver la productividad del centeno en la región.

REFERENCIAS

- AACC (American Association of Cereal Chemists), 1995. Approved Methods of the AACC. 9th Edition, AACC, Inc.: St. Paul Minnesota.
- AACC International. (2000). Approved Methods of the AACC. Methods 44-20, 46-13. The association, St Paul, MN.
- AOAC. American Organization of Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. Washington, DC. pp: 777.
- Abeledo, L. G.; Calderini, D. F. y Slafer, G A. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133:291-298.
- Andrade B. G., García L. A., Cervantes D. L., Ail C. C., Borboa F. J. y Rueda P. E. 2017. Estudio del potencial biocontrolador de las plantas autóctonas de la zona árida del noroeste de México: control de fitopatógenos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 127-142.
- Arendt, E.K. y Zannini, E. 2013. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Cambridge:Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 485 pp.
- Bakhsh, A., Gurmani, A.H., Bhatti, A.U., Rehman, H., 1999. Effect of balanced application of N, P and K on the grain yield of wheat. *Sarhad. J. Agri.*, 15:453-457.
- Ballesteros R. E., Morales R. E., Franco M. O., Santoyo C. E., Estrada C. G. y Gutiérrez R. F. 2015. Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 721-733.
- Balkcom, K. S., Massey, J. M., Mosjidis, J. A., Price, A. J. y Enloe,

- S. F. 2011. Planting date and seeding rate effects on sunn hemp biomass and nitrogen production for a winter cover crop. *International Journal of Agronomy*, 2011.
- Bushuk, W. 2004. 'Rye', in Wrigley C, Walker C and Corke H, eds, *Encyclopedia of Grain Science*, Vol.3, Oxford, UK, Elsevier Ltd, 85-91.
- Calderini, D. F., Reynolds, M. P. y Slafer, G. A. 1999. Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*, 351-377.
- Cao, W. y Moss, D. N. (1989). Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science*, 29(4), 1018-1021.
- Castellanos, J. Z., Uvalle B. J. y Aguilar S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP (2da. ed.) (201 pp.). México: Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FAO; (2010). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Informe resumido. 160 p.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2010. Guía técnica para el área de influencia del campo experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. pp 8-10.
- Kernich, G. C. y Halloran, G. M. 1996. Temperature effects of the duration of the spikelet growth phase and spikelet abortion in barley. *J. Agron. Crop Sci.* 176:23-29.
- Langer, R. H., y Liew, F. K. 1973. Effects of varying nitrogen supply at different stages of the reproductive phase on spikelet and grain production and on grain nitrogen in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 24(5), 647-656.
- Liukkonen, K.H., Katina, K., Wilhelmson, A., Myllymäki, O., Lampi, A.M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.M., Nurmi, T., Adlercreutz, H., Peltoketo, A., Pihlava, J.M., Hietaniemi, V. y Poutanen, K. 2003. Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society* 62, 117-122.
- Ma, B. L. y Smith, D. L. 1992. Apical development of spring barley under field conditions in northeastern North America. *Crop science*, 32(1), 144-149.
- Martínez R. F., Cervantes D. L., Aíl C. C., Hernández M. L., Sánchez, C. L., y Rueda P. E. 2016. Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) En La Zona Árida Del Noroeste De México: La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18).
- Mazuela, Á. P. 2013. *Agricultura en zonas áridas y semiáridas*. Idesia (Arica). 31(2):3-4.
- Mellado Z. M., Matus T. I. y Madariaga B. R. 2008. Antecedentes sobre el centeno, en Chile y otros países. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 182, 64 p.
- Michalska, A., Amigo B. M., Zielinski, H. y Del Castillo, M. D. 2008. Effect of bread making on formation of Maillard reaction products contributing to the overall antioxidant activity of rye bread. *Journal of Cereal Science*, 48(1), 123-132.
- Murillo, B., Escobar, A., Fraga, H., y Pargas, R. 2001. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24(2), 145-153.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial (Segunda Sección). México, D. F., 85 p.
- Nyström, L., Lampi, A. M., Andersson, A. A., Kamal-Eldin, A., Gebruers, K., Courtin, C.M., & Boros, D. (2008). Phytochemicals and dietary fiber components in rye varieties in the Heathgrain diversity screen. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(21), 9758-9766.
- Renganathan, P., Borboa F. J., Rosas B. E., Cárdenas L. J., Murillo A. B., Ortega G. J. y Rueda P. E. 2018. Inoculación de halobacterias fijadoras de nitrógeno en la contribución a tolerancia al estrés salino en frijol tepary. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen especial. 20. 1-12.
- Rustam, A. y Yasin, M., 1991. Response of wheat to nitrogen and phosphorus fertilization. *Pak. J. Agri. Res.*, (12) pp 30-133.
- Shewry, P.R. (2004/Rev.2006), Improving the protein content and quality of temperate cereals: wheat, barley and rye, in *Impacts of Agriculture on Human Health and Nutrition*, [Eds. Ross M. Welch, and Ismail Çakmak], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK,
- SIAP-SAGARPA. 2017. Producción agropecuaria y pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuario a nivel federal. Subdelegación de agricultura. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Solís M. E., Hernández M. M., Borodanenko, A., Aguilar A. J., y Grajeda C. Ó. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4).
- Stoskopf, N.C. (1985) *Cereal grain crops*. Reston Publishing Company, Inc., Reston.
- United States Department of Agricultural. 2015. USDA, *Agricultural Projections to 2024*. 97p.
- Weipert, D. 1996. Rye and triticale. In *Cereal Grain Quality*, eds. R.J. Hendry and P.S. Kettlewell, 205-224. London, UK.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.