

Valor nutritivo en granos de triticale como alternativa en la industria alimentaria

Gilberto Rodríguez-Perez¹

José Francisco Cervantes-Ortiz²

Alfredo Josué Gámez-Vázquez³

Felipe de Jesús Reynaga-Franco¹

Jony Ramiro Torres-Velázquez¹

Miguel Ángel Ávila-Perches^{3§}

¹Tecnológico Nacional de México-*Campus* Valle del Yaqui. Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, Ciudad Obregón, Sonora. (gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx; felipe.rf@vyaqui.tecnm.mx; jtorres.velazquez@itvy.edu.mx). ²Tecnológico Nacional de México-*Campus* Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, Celaya, Guanajuato. (frcervantes@itroque.edu.mx). ³Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. (gamez.josue@inifap.gob.mx).

§ Autor para correspondencia: avila.miguel@inifap.gob.mx.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue identificar líneas de triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) de valor en la industria alimentaria, con base en sus propiedades físicas y químicas. Veinte líneas élite de triticale primaveral del programa de investigación del CIMMYT se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones durante 2018 en Celaya, Guanajuato, México, donde se evaluaron las variables: PMG, PH, humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos. Los resultados mostraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre líneas, los mayores valores de PMG, PH y porcentaje superior en grasa, fibra, proteínas y carbohidratos se encontraron en las líneas L-18, L-17 y L-14, además de L-20, L-10 y L-19. El modelo AMMI detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las líneas y sus interacciones con las variables fisicoquímicas; el gráfico biplot mostró que las líneas L-18, L-7, L-10, L-17 y L-20 expresaron mayor asociación con PMG, PH, proteínas, grasas, fibra y carbohidratos, lo que les permite considerarlas en el uso de la industria alimentaria por obtener promedios superiores.

Palabras clave: *X. Triticosecale* Wittmack, calidad industrial, propiedades fisicoquímicas.

Recibido: marzo de 2023

Aceptado: mayo de 2023

Introducción

El triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), un cereal de hibridación de trigo y centeno se utiliza principalmente como alimento para animales, en los últimos años se ha incrementado el interés para su uso en la producción de alimentos (Zhu, 2018), debido a su variabilidad genética y composición nutricional del grano, que le ha permitido el desarrollo de productos alimenticios y bebidas, incluidos productos de panadería como galletas, pastas, panes y maltas. Pocas investigaciones se han realizado de la composición nutricional y los diversos usos alimentarios del triticale debido a su amplia variación en la composición química del grano, lo que sugiere tener potencial como una alternativa de cereales para diversas aplicaciones de alimentos (Zhu, 2018).

El grano y la harina constituyen una fuente de vitaminas y minerales (Pruska *et al.*, 2017), además tiene mayor cantidad de lisina y proteínas que las variedades de trigo, lo que es valioso por ser un aminoácido esencial que el organismo no sintetiza, por lo tanto, se trata de un producto de interés para la alimentación humana, aunque sus características, como la textura y llenado del grano, son desfavorables durante la comercialización, puesto que su rendimiento de harina es inferior al trigo. La extracción de harina del grano de triticale puede promediar 65% (Riasat *et al.*, 2019), aunque es muy variable según la variedad, condiciones de manejo y cosecha.

El triticale puede considerarse para la alimentación humana, pero se debe aumentar el rendimiento y la calidad de las harinas (Oliete *et al.*, 2010). En México, la selección de genotipos para la molienda es escasa, debido a que los estudios se han enfocado a la producción de forraje y grano; sin embargo, Ammar *et al.* (2004) señalan que se debe elevar el rendimiento, adaptación y su calidad industrial.

Desde el punto de vista predictivo de la selección, es importante saber si al seleccionar una característica se modifica otra que esté correlacionada con ella ya que, especialmente las negativas, pueden neutralizar los esfuerzos del mejorador (Pattison *et al.*, 2014). Esto refleja la importancia que tiene el cultivo en la industria alimentaria y la necesidad de contar con variedades de mayores y mejores bondades que satisfagan las necesidades y los requerimientos de la industria. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar líneas de triticale con base en sus propiedades físicas y químicas del grano con valor para la industria alimentaria

Materiales y métodos

Material genético y ubicación de los experimentos

Los genotipos fueron 20 líneas élite de triticale de hábito primaveral (Cuadro 1) de generación F₈ seleccionados en la estación experimental del CIMMYT, ubicada en Ciudad Obregón, Sonora, del vivero YTCL-2015, estos sobresalieron en rendimiento de grano, resistencia a roya del tallo y hoja, así como al estrés hídrico. Se evaluaron en campo durante ciclo otoño-invierno 2017-2018 en el *Campus* Roque del Tecnológico Nacional de México (ITNM-Roque), en Celaya, Guanajuato, México, cuyo clima es semicálido BShw (e), con una precipitación de 550 a 710 mm durante el año y temperatura media anual de 18.4 °C, cuyos suelos son de tipo Vertisol pélico, que se caracterizan por ser arcillosos de coloración oscura (García, 1973), específicamente en 20° 31' latitud norte, 100° 45' longitud oeste y con altitud de 1 765 m.

Cuadro 1. Genealogía de 20 líneas élite de triticale primaveral evaluadas en el estado de Guanajuato.

Línea	Genealogía
1	CTSS99Y00246S-1Y-0M-0Y-5B-1Y-0B
2	CTSS02B00380S-6Y-3M-4Y-2M-1Y-0M
3	CTSS02B00413S-22Y-2M-3Y-2M-1Y-0M
4	CTSS03Y00100T-050TOPY-49M-1Y-06Y-2M-4Y-0M
5	CTSS05Y00094S-020Y-8M-4Y-0M-1Y-0M
6	CTSS04B00008S-020Y-24M-2Y-0M-2Y-0M
7	CTSS04B00035S-020Y-29M-4Y-0M-2Y-0M
8	CTSS07Y00001S-17Y-010M-6Y-3M-3Y-0B
9	CTSS07Y00009S-26Y-010M-9Y-1M-3Y-0B
10	CTSS07Y00052S-3Y-010M-3Y-4M-2Y-0B
11	CTSS07Y00056S-27Y-010M-6Y-3M-1Y-0B
12	CTSS07Y00076S-12Y-010M-26Y-1M-4Y-0B
13	CTSS07Y00103S-23Y-010M-4Y-1M-2Y-0B
14	CTSS08Y00155T-099Y-016M-17Y-099M-4Y-4BMX-4Y
15	CTSS08Y00168T-099Y-024M-5Y-099M-1Y-4BMX-1Y
16	CTSS08Y00035S-099Y-026M-5Y-099M-5Y-2BMX-1Y
17	CTSS08Y00035S-099Y-026M-19Y-099M-2Y-2BMX-4Y
18	CTSS08Y00054S-099Y-021M-2Y-099M-9Y-2BMX-4Y
19	CTSS08Y00117S-099Y-032M-2Y-099M-15Y-1BMX-4Y
20	CTSS08Y00130S-099Y-037M-9Y-099M-5Y-3BMX-3Y

De genotipo se obtuvieron muestras a la cosecha, para cuantificar su calidad nutritiva en el laboratorio de industrias alimentarias del ITNM-Roque, bajo un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones donde las variables evaluadas fueron: peso de 1 000 granos (PMG), peso hectolítrico (PH), humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos.

Análisis fisicoquímicos

Se determinó el peso hectolítrico (PH) con el procedimiento 55-10 de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995) y se obtuvo al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionado al volumen de 100 L, las mediciones se realizaron en 10 repeticiones, mientras que el peso de 1 000 granos (PMG) se determinó por triplicado en 1 000 granos.

El porcentaje de humedad fue evaluado con el método 900.15 de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2012), con 10 g de cada muestra colocados en crisoles, sometidos a 105 °C en una estufa durante 16 h, las cuales se introdujeron en un desecador por 30 min hasta alcanzar temperatura ambiente para finalmente registrar el peso, el análisis fue realizado por duplicado y la humedad se determinó con la siguiente fórmula: % de humedad = $\frac{(B-A)-(C-A)}{B-A} * 100$.

Donde: A= es el peso del crisol a peso constante (g); B= al peso del crisol con la muestra (g); y C= al peso del crisol con la muestra seca (g).

El contenido de proteína cruda se calculó a partir del nitrógeno total utilizando por el método de Kjeldahl, la digestión se realizó con ácido sulfúrico concentrado y en la destilación se utilizó hidróxido de sodio al 40%, para la titulación se utilizó una solución valorada de ácido sulfúrico, método oficial de la AOAC (2012). La determinación de grasa cruda se realizó de acuerdo con el método 923.03 de la AOAC (2000), donde las extracciones se realizaron por triplicado en muestras de 1 g de harina que pasaron a través de una malla 80 (0.18 mm), se utilizó un equipo Soxhlet System HT 1043 extracción Unit (Tecator, Suecia), con éter de petróleo como disolvente.

Para valor las cenizas: se utilizó el método 923.03 de la AOAC (2012), se pesaron de 5 g de cada muestra, la cual se colocaron en un crisol de porcelana, se incineró en una mufla a aproximadamente 550 °C, hasta que se produjo una ceniza gris luminosa, después se dejó enfriar en un desecador y se pesó al alcanzar la temperatura ambiente; los carbohidratos se determinaron por diferencia, restando a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los valores se expresaron en g kg⁻¹.

La fibra se valoró con el método de digestión ácida y alcalina de 2 g de muestra se le extrajo la grasa, transfiriéndolo a un vaso de 600 ml para evitar la contaminación con la fibra de papel, se agregó 1 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo, posteriormente se giró el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes, después se retiró el vaso y se filtró a través de papel, posteriormente se lavó el residuo varias veces hasta que las aguas del lavado presentarán un pH igual a la del agua destilada, al final, se calcinó a 600 °C durante 30 min para enfriar y determinar su masa la fórmula utilizada fue: % Fibra= $\left(\frac{A-B}{C}\right) * 100$.

Donde: A= al peso del crisol con la muestra seca; B= al peso del crisol; y C= a los gramos de muestra seca. Para proteína: se usó el método de Kjeldahl (AOAC, 2012), 0.1g de muestra fue pesada por duplicado (muestras secas provenientes de análisis de humedad) y se registró su peso.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Andeva) en un diseño completamente al azar con seis repeticiones y una comparación de medias con la diferencia mínima significativa (DMS $p \leq 0.05$). En la caracterización fisicoquímica de las líneas de triticale se generó una matriz, se promediaron los datos de PMG, PH, humedad, cenizas, fibra, grasa, proteína y carbohidratos en seis repeticiones. Se utilizó el método de Upgma (media métrica no ponderada) para calcular las distancias y generar grupos compactos y homogéneos y así diferenciar los grupos dentro de las líneas de triticale (Núñez y Escobedo, 2011). Para el biplot se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y un análisis de componentes principales para la interacción genotipo x ambiente, para conocer la relación entre las líneas con las variables fisicoquímicas (Crossa, 1990).

Resultados y discusión

Los resultados del Andeva (Cuadro 2) muestran diferencias ($p < 0.01$) entre líneas para todas las variables, los efectos que contribuyeron a la variación total en PH fueron de 61.29%, PMG (60.05%), debido a que la expresión del peso se atribuyó principalmente a la variación genética que tienen las líneas evaluadas como lo confirman los resultados de Jonnala *et al.* (2010), quienes encontraron diferencias en PMG y PH en líneas avanzadas de triticale, lo que indica que los genotipos aportan diferente calidad en el grano por su constitución genética; otros efectos que se

presentaron en fibra, proteínas y grasa, mostraron mayores contribuciones con 77.05, 62.83 y 52.73%, respectivamente, lo que manifiesta que la proporción de calidad en el grano está influenciado por factores genéticos de las líneas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Negash *et al.* (2013) que evaluaron la calidad en granos de trigos y encontraron que los efectos de mayor importancia fueron proteínas, carbohidratos y fibra.

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza de las variables fisicoquímicas de 20 líneas élite de triticale primaveral evaluadas en 2018 en el estado de Guanajuato.

FV	GL	PMG	PH	Humedad	Cenizas	Grasas	Fibra	Proteína	Carbohidratos
Líneas	19	32.56**	20.52**	1.04*	0.1*	8.01**	0.19**	33.6**	135.82**
Error	100	10.17	6.26	7.12	0.08	1.36	0.01	3.78	32.39
Total	119	17.45	10.78	6.14	0.08	2.42	0.04	8.53	48.9
CV (%)		7.98	3.33	16.07	14.03	12.45	2.9	15.17	9.09

FV= fuentes de variación; GL= grados de libertad; PMG= peso de mil granos; PH= peso hectolítrico, * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$ y CV= coeficiente de variación.

Las líneas L-18, L-17, L-14, L-19 y L-20 mostraron numéricamente los mayores promedios en PMG y PH (Cuadro 3); sin embargo, L-18 solamente superó en PMG a L-3 y L-5 y en PH L-20, L-17, L-1 solamente superaron a L-1 y L-5, por lo que el peso de grano y hectolítrico son considerados indicadores del potencial de rendimiento de grano de variedades o líneas, en este caso L-14, L-17 y L-20, además presentaron los menores contenidos de humedad en grano; es decir, una mayor acumulación de materia seca y PH.

Cuadro 3. Comparación de medias (DMS) de 20 líneas élite de triticale primaveral de las variables fisicoquímicas, evaluadas en 2018 en el estado de Guanajuato.

Línea	PMG	PH	Humedad	Cenizas	Grasa	Fibra	Proteína	Carbohidratos
1	38.13ab	68.36c	15.56a	2.24a	2.18bc	3.32k	9.15f	61.97abcde
2	39.01ab	73.96abc	15.85a	1.92c	2.34abc	3.51ghijk	15.54ab	54.16e
3	42.79b	75.36abc	14.78ab	1.93c	1.23c	3.57fghij	13.02abcdef	64.85abcde
4	36.23ab	73.26abc	13.67abc	1.92c	3.47abc	3.38jk	11.12cdef	66.13abcd
5	35.83b	69.53bc	13.24bc	1.9cd	3.15abc	3.61efghi	13.68abc	58.21abcde
6	42.92ab	75.82abc	12.73bc	2.14ab	2.31abc	3.39ijk	9.43def	63.83abcde
7	45.69ab	76.11abc	12.86bc	1.98abc	1.97c	3.84abc	13.49abcd	55.79cde
8	37.73ab	74.23abc	15.93a	1.95bc	1.39c	3.65defgh	13.32abcde	66.79abcd
9	37.64ab	74.46abc	14.84ab	2.07abc	4.53ab	3.45hijk	11.47bcdef	67.397abc
10	43.5ab	76.66ab	13.42bc	1.96bc	3.38abc	3.68bcdef	14.11abc	59.96abcde
11	42.07ab	76.03abc	12.61cd	2.27a	2.26abc	3.55fghij	9.27ef	63.14abcde
12	38.28ab	73.23abc	14.05ab	1.94bc	2.42abc	3.76abcdef	14.29abc	55.19de
13	39.16ab	76.56ab	13.25bc	1.96bc	1.31c	3.82abcde	13.19abcdef	66.08abcde
14	42.94ab	77.96a	12.03d	1.84d	2.05c	3.62defgh	11.26cdef	68.12ab
15	36.38ab	75.86abc	12.43cd	1.92c	3.24abc	3.84abcd	13.86abc	59.32abcde

Línea	PMG	PH	Humedad	Cenizas	Grasa	Fibra	Proteína	Carbohidratos
16	35.98ab	75.86abc	13.61abc	2.17ab	2.39abc	3.59fghij	9.55def	65.04abcde
17	43.05ab	78.06a	10.96d	1.82d	4.72a	3.86abc	16.61a	72.24a
18	45.84a	77.43a	12.1cd	1.84d	4.64a	3.91ab	16.39a	68.06ab
19	37.89ab	75.26abc	13.04bc	1.85d	1.47c	3.73bcdef	11.61bcdef	56.85bcde
20	37.81ab	78.8a	10.34d	1.98abc	4.59ab	3.94a	15.74a	61.1abcde
DMS	9.89	7.76	0.6	0.45	2.45	0.22	4.08	11.96

PMG= peso de mil granos; PH= peso hectolítrico; DMS= diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Aisawi *et al.* (2015) mencionan que la morfología del grano es alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua y en el llenado de grano por temperaturas altas o bajas. Por lo que los resultados obtenidos tienen como base las diferencias genéticas de las líneas, así como las condiciones ambientales favorables en que fueron sembradas las líneas en campo (18 de diciembre de 2017).

Los resultados indican un buen llenado de grano durante el ciclo, que proporcione buen rendimiento de harinas durante el proceso de molienda en la industria alimentaria. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pomortsev *et al.* (2019); Giunta *et al.* (2017) reportaron que el mayor peso de grano es fuertemente afectado por factores genéticos y ambientales; los resultados mostraron que, dentro de la variación total de los valores de estas variables fueron debido a la interacción genotipo por ambiente (GxA), lo que pone de manifiesto predecir el comportamiento de las líneas al ser evaluadas.

El contenido de humedad tiene gran relevancia porque los contenidos de humedad mayores a 13-14% favorecen el daño que causa la presencia de microorganismos durante el almacenamiento temporal, por consecuencia afecta la calidad de harinas en la fabricación de productos alimentarios. La humedad en las líneas L-20, L-17, L-14 y L-14 fue satisfactoria y confiable para realizar un procesamiento en la elaboración de galletas debido a que fueron inferiores al 13%, el contenido de minerales (cenizas) en el grano es importante ya que, si su concentración es alta, sobre todo en granos con bajo peso hectolítrico, puede no ser favorable en la industria alimentaria y animal (Riasat *et al.*, 2019).

Los bajos niveles de cenizas son favorables en virtud que pueden aportar mayor cantidad de minerales para la alimentación, por otro lado, cuando existen niveles altos en cenizas son particularmente indeseables porque oscurecen la semolina y en mayor grado las pastas alimenticias (Pattison *et al.*, 2014). Los niveles de concentración de cenizas en grano que se consideran deseables deben ser menores a 2% (Peña *et al.*, 2007), los resultados mostraron que las líneas L-17, L-18, L-19 y L-14 presentaron valores menores a 2 en cenizas, lo que les hace importantes para la aportación de minerales.

En relación con el contenido de grasas se encontró variación entre las líneas, dentro del grupo de con la mejor respuesta, las líneas L-17 y L-18 y L-20 mostraron mayores valores y fueron superiores a L-1, L-3, L-7, L-8, L-13, L-14 y L-19; en general los cereales tienen bajas cantidades de compuestos lipídicos, el triticale se encuentra entre el 1.5 de grasas (Peña *et al.*, 2007), los cuales

están presentes principalmente en el germen y la capa de aleurona del grano. Por lo tanto, solamente las líneas de triticale L-3, L-8 L-13 y L-19 presentaron valores reducidos y el resto están dentro del intervalo que se conoce para el contenido de grasas en el cereal, a su vez Pruska *et al.*, (2017) mencionaron que se debe considerar aquellos cereales con mayores contenidos de grasas para extender su uso en la alimentación humana, al mismo tiempo aumentar los rendimientos del cultivo y la calidad en sus harinas, dado que las grasas representan la fuente principal de energía procedente de los alimentos, como es el caso de la concentración que tienen algunos cereales en el grano como el trigo y avena.

En el caso de fibra, los mayores valores numéricos lo mostraron las líneas L-18, L-20 y L-17, pero el grupo estadístico de mayor importancia también se conformó con L-15, L-13 y L-7, el rango de esta variable es de 3.1 en triticale (Peña *et al.*, 2007), por lo que las 20 líneas representan una buena fuente de fibra para los seres humanos, que son los que necesitan mayor cantidad para su digestión (Moiraghi *et al.*, 2011). Los resultados mostraron valores desde 3.3 a 3.94, superiores al rango establecido en triticale (3.1).

Las líneas L-17, L-18, L-20 y L-2 produjeron numéricamente las mayores concentraciones de proteínas, pero en el mismo grupo estuvieron L-12, L-10, L-15, L-5, L-7, L-8, L-13 y L-3; al respecto Peña *et al.* (2007), reportan que el triticale tiene usualmente un contenido proteico de 14.3%, por lo que, únicamente las líneas L-17, L-18, L-20 y L-2, se consideran con contenidos de proteína deseables para elaborar pasta y galletas debido a su gluten fuerte, ya que además superaron en 4.61 el contenido de proteína que los trigos (12%), Gulmezoglu *et al.* (2010) reportaron que el triticale contiene una buena fuente de proteínas, carbohidratos y grasas que pueden utilizarse en la alimentación animal y en procesos para la industria alimentaria para el proceso de pastas, galletas o panes con harinas propias o mezclas con harinas de otros cereales.

En relación al contenido de carbohidratos en el grano se observó que en las líneas L-17, L-18, L-14 presentaron mayores valores numéricos de carbohidratos, pero al considerar los valores obtenidos por Jonnala *et al.* (2010) fueron superiores también las líneas L-9, L-8, L-4, L-13, L-16, L-13, L-6, L-11, L-1 y L-20, las líneas L-10, L-15, L-5, L-19, L-7, L-12 y L-2; no obstante, ser clasificadas dentro del grupo con los mayores valores, no se consideran deseables por no reunir los requerimientos necesarios. Pattison *et al.* (2014) establecen que los alimentos ricos en hidratos de carbono están presentes en semillas, pastas, panes, galletas y tubérculos entre otros, son importantes ya que representan 55% del total de alimentos en la dieta de los países desarrollados y más de 80% en los países subdesarrollados, por lo que las líneas con mayores porcentajes de proteínas, carbohidratos y fibras, tienen posibilidades de ser utilizadas en la elaboración de fórmulas alimenticias para humanos y animales (Jonnala *et al.*, 2010).

El análisis conglomerado clasificó a las 20 líneas de triticale en cuatro grupos con similitud con base en las características fisicoquímicas del grano (Figura 1), el primer grupo lo conformaron las líneas L-17 y L-18, aportaron mayor PMG y PH y superaron a la media general; sin embargo, para cenizas, proteínas, fibra y grasa sus valores fueron superiores a lo reportado por Peña *et al.* (2007) siendo aceptables para la industria molinera, en especial para elaboración de pastas, galletas, macarrones y sopas, Pattison *et al.* (2014) refirieron que una buena calidad en granos de triticale debe ser cuando estos presenten valores superiores de 14.3% en proteína, menores de 2% de cenizas y mayores de 1.5% de grasa, los resultados de esta investigación superaron significativamente a lo reportado por Peña *et al.* (2007).

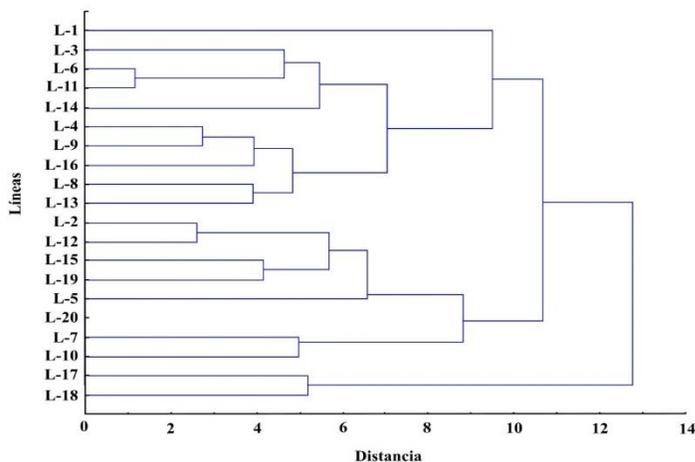


Figura 1. Dendrograma generado con base en los contenidos de parámetros físicoquímicos de 20 líneas élite de triticale de hábito primaveral, Celaya, Guanajuato, México.

El segundo grupo se formó por 40% de las líneas integrándose L-10, L-7, L-20, L-5, L-19, L-15, L-12 y L-2, este grupo mostraron valores inferiores a la media general de PMG y PH, estos parámetros indican la densidad y el grado de llenado del grano principalmente por la morfología del grano característico de la variedad, normalmente, cuando el grano no está completamente lleno, los valores del peso hectolítrico son bajos, en esta investigación los valores presentados en PH y PMG fueron 5.14 kg hl^{-1} más que se reporta en trigo (70 kg hl^{-1}) lo que refirieron Peña *et al.* (2006).

Cabe señalar que el experimento en campo se realizó de diciembre de 2017 a abril de 2018, lo cual favoreció el llenado de grano, el tercer grupo contribuyó con 25% formado por las líneas L-13, L-8, L-16, L-9 y L-4, sus características son que mostraron en PH 0.26 kg hl^{-1} inferiores a la media general (75.14 kg hl^{-1}) y 2.6 g en PMG, estos resultados no son significativos para que sean utilizados en la industria molinera dado que superaron en 4.8 kg hl^{-1} a lo reportado en trigo.

Sin embargo, los valores promedio de humedad, cenizas, grasa, y fibra, fueron superiores a lo reportado por Pattison *et al.* (2014) en trigo, con 13, 2, 2.62, y 3.58% respectivamente. Castaño *et al.* (2015) refieren que la industria molinera produce tres grados de calidad de harina, relacionados con sus propiedades físicoquímicas: común o estándar, fina y extrafina, que constituyen la base para la elaboración de panes, tortillas, galletas y pasteles donde las sémolas pueden variar ligeramente en su grado de finura por la calidad de harinas del material genético para ser utilizadas en la elaboración de pastas (espagueti, macarrones, sopas), los resultados en esta investigación son indicadores que las líneas en este grupo pueden aprovecharse en la elaboración de galletas, pastas, pasteles y macarrones por el gluten con excepción del contenido de proteínas y carbohidratos que a pesar de tener bajos valores aun así son favorables para considerarlas en la industria panificadora (Zhu, 2018).

El cuarto grupo representó 25% y estuvo conformado por L-14, L-11, L-6, L-3 y L-1, cuyos valores de PMG y PH fueron 1.83 y 0.43 kg hl^{-1} mayores a la media, en cuanto a humedad sus valores fueron inferiores al 13.5%, en cenizas solo L-14 y L-3 mostraron valores inferiores al 2% por lo que son aptas para la molienda, en grasa y fibra presentaron valores superiores, proteínas y carbohidratos obtuvieron ligeramente valores inferiores a lo reportado por Peña *et al.* (2007), del

total de la materia prima alimentaria generada por la industria molinera, aproximadamente 62% se destina a la panificación, 26% a galletas, tortillas y otros y 12% a la elaboración de pastas alimenticias, estas líneas son prometedoras para la elaboración de este último producto, estos resultados coinciden con lo referido por Jing *et al.* (2016) quienes reportaron que las propiedades funcionales y estructura en harinas de cereales como el trigo y triticale son la base fundamental para tener buena calidad molinera.

El análisis AMMI (Figura 2), permitió dispersar las 20 líneas en sus propiedades fisicoquímicas con mayor y menor asociación formando tres grupos entre los dos componentes; el primero contribuyó con 60%, se integró por L-19, L-11, L-6, L-3, L-12, L-2, L-16, L-9, L-8, L-4 y L-13, estas líneas mostraron mayor asociación con proteínas, grasas y fibra (Figura 2), L-20, L-2 y L-12 mostraron de 1.2 a 1.5% más en proteínas, en fibra y grasa las 12 líneas obtuvieron en promedio entre 1 y 3% respectivamente a lo reportado por Peña *et al.* (2007).

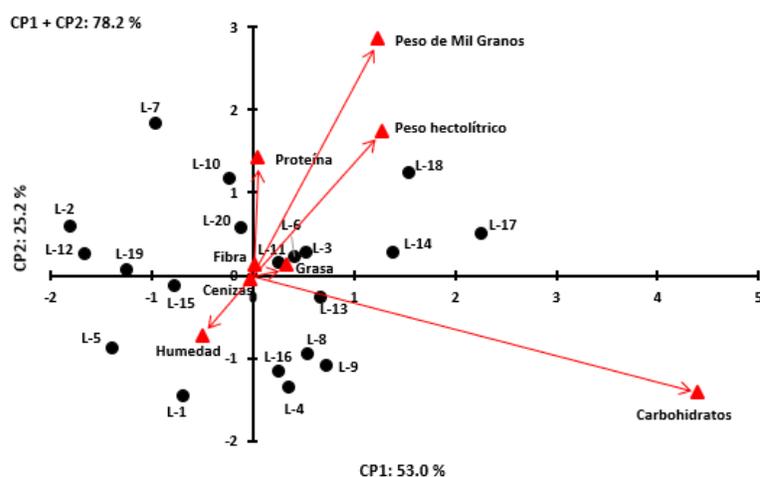


Figura 2. Biplot de las 20 líneas de triticale primaveral con las variables fisicoquímicas, evaluadas en Celaya, Guanajuato.

Estas líneas tienen buena disponibilidad de nitrógeno en el grano y los niveles de este componente son aceptables para harinas destinadas a la panificación, la producción de tortillas, galletas y pastas, esto es relevante porque el contenido de gluten es el factor más importante al definir la calidad tanto de cocción de las pastas (espagueti y sopas) como de panificación (Pattison *et al.*, 2014). Por lo anterior, los contenidos de estos parámetros pudo ser un factor atribuible de las condiciones climáticas en que se colectaron los granos de campo, los porcentajes de estos parámetros fueron entre 1 a 3% superiores a lo reportado por Ferreira *et al.* (2015), quienes refirieron que la calidad de proteína presente en granos como trigo y triticale son determinantes para su uso en la industria alimentaria; el segundo grupo contribuyó con 25% siendo las líneas L-7, L-18, L-17, L-14 y L-10 asociadas a PMG, PH y carbohidratos, estos parámetros son importantes en el contenido de grano, se define principalmente por su morfología en cada variedad, esta puede ser alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua, y en el llenado de grano por temperaturas altas o bajas.

El peso hectolítrico se considera un indicador del potencial de rendimiento en harinas que posee una variedad o línea durante la molienda, de tal manera que las variedades con peso hectolítrico bajo (menores a 70 kg hl⁻¹) suelen mostrar bajos rendimientos de harina, por esta razón, durante esta investigación se encontraron valores superiores en el PH, el valor más inferior fue en L-7 (76.1 kg hl⁻¹) y el superior en L-17 (78.07 kg hl⁻¹), estos resultados indican que el PH en este grupo es un factor decisivo al determinar la calidad en harinas en obtener mejores rendimientos (Jing *et al.*, 2016).

El tercer grupo conformado por L-1, L-5 y L-15 mostraron una relación negativa con el contenido de minerales (cenizas) y humedad en el grano, este resultado es importante ya que, si su concentración de cenizas y humedad fueran mayor de 2 y 14%, respectivamente sobre todo en granos con bajo peso hectolítrico, puede contaminar de manera significativa la sémola y la harina de la molienda, los mayores niveles de contaminación con cenizas son particularmente indeseables en granos duros o cristalinos, en virtud de que las partículas oscurecen la semolina y en mayor grado, las pastas alimenticias, el rango de cenizas en triticales es 2%, para humedad los contenidos en el grano mayores a 13-14% favorecen el daño provocando la presencia de microorganismos (Fan, 2018).

Los niveles de concentración de cenizas en grano que se consideran deseables deben ser menores a 2% (Peña, 2007). Los resultados indican que este grupo en especial las líneas L-5 y L-15 mostraron valores de cenizas menores a 2% y humedad solo la línea L-15 presentó 12.43%, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Pattison *et al.* (2014) que evaluaron la calidad de gluten en el grano de variedades en triticales y encontraron que valores por arriba de 14% en humedad y por encima de 2.1% en cenizas, contribuyen más la calidad en harinas, por lo tanto, los resultados negativos en esta investigación pueden presentar efectos en tener una calidad de harinas no aptas para la industria alimentaria.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que es posible utilizar el triticales como una alternativa en la industria alimentaria por su calidad nutricional de grano, apta para procesos de elaboración de pastas, panes, tortillas, macarrones, pasteles y sopas. Es necesario modernizar la diversidad de variedades de triticales por su calidad proteica que se cultivan en México; se recomienda usar las líneas L-18, L-17, y L-14, además de L-20, L-10 y L-19 pues cumplieron con los rangos de calidad industrial en esta investigación como fue de mayor PMG y PH, porcentajes superiores de grasa, fibra, proteína y carbohidratos, así como valores inferiores en humedad y cenizas.

Literatura citada

- Aisawi, K. M.; Reynolds, R.; Singh, M. and Foulkes, X. 2015. The physiological basis of the genetic progress in yield potential of CIMMYT spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Sci.* 55(4):1749-1764.
- AACC. 1995. American Association of Cereal Chemists. Official methods of analysis. 10th. Ed. Washington. 1-53 p.

- Ammar, K.; Mergoum, M. and Gómez, M. H. 2004. The history and evolution of triticale. *In: the triticale improvement and production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Rome, Italy. 179(1):1-9.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15th. Ed. Washington. 1-5 pp.
- AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15th. Ed. Washington.
- Castaño, M.; Ribotta, P.; Ferreira, V.; Grassi, E.; Ferreira, A.; di Santo, H.; Castillo, E. y Paccapelo, H. 2015. Aptitud de las harinas integrales de triticales (x *Triticosecale Wittmack*) para la elaboración de galletitas. SEMIARIDA, UN la Pampa. Rev. Facultad de Agronomía. 25(1):25-39.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44(1):55-85.
- Fan, Z. 2018. Triticale: nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, February. 14(241):468-479.
- Ferreira, V.; Grassi, E.; Ferreira, A.; Santo, H.; Castillo, E. y Paccapelo, H. 2015. Triticales y tricepiros: interacción genotipo ambiente y estabilidad del rendimiento de grano. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 31(2):93-104
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 6-246 pp.
- Giunta, F.; Motzo, R.; Viridis, A. and Cabiglieria, A. 2017. The effects of forage removal on biomass and grain yield of intermediate and spring triticales. *Field Crops Res.* 200(2) 47-57.
- Gulmezoglu, N.; Alpu, O. and Ozer, E. 2010. Comparative performance of triticale and wheat grains by using path analysis. *BJAS.* 16(2):443-453.
- Jing, J. W.; Guang, L.; Yan, B. H.; Qiao, H. Z.; Guo, S. S.; Yi, H.; Lin, L. and Song, Q. S. 2016. Role of N-terminal domain of HMW 1Dx5 in the functional and structural properties of wheat dough. *Food Chem.* 213(3):682-690.
- Jonnala, R. S.; Macritchie, F.; Herald, T. J.; Lafiandra, D.; Margiotta, B. and Tilley, M. 2010. Protein and quality characterization of triticale translocation lines in bread making. *Cereal Chem.* 87(6):546-552.
- Moiraghi, M.; Vanzetti, L.; Bainotti, C.; Helguera, M. and Leon, P. X. 2011. Relationship between soft wheat flour physicochemical composition and cookie-making performance. *Cereal Chem.* 88(2):130-136.
- Negash, A. W.; Mwambi, H.; Zewotir, T. and Taye, G. 2013. Additive main effects and multiplicative interactions model (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of multi-environmental wheat variety trials. *Afr. J. Agric. Res.* 8(12):1033-1040.
- Núñez, C. A. C. y Escobedo, L. D. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Rev. Agron. Mesoam.* 22(2):415-427.
- Oliete, B.; Pérez, G.; Gómez, M.; Ribotta, P.; Moiraghi, M. and León, A. 2010. Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *J. Food Sci. Tech.* 45(4):697-706.
- Pattison, L. A.; Appelbee, M. and Trethoman, R. M. 2014. Characteristics of modern triticale quality: glutenin and scalin subunit composition and mixograph properties. *J. Agric. Food Chem.* 62(21):4924-4931.
- Peña, B. R. J.; Hernández, N. E.; Pérez, P. H.; Villaseñor, H. E. M.; Gómez, M. V. y Mendoza, A. L. 2007. Calidad de la cosecha de trigo en México; ciclo otoño-invierno 2006-2007. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. 10-24 pp.

- Pomortsev, A.V.; Dorofeev, N. V.; Zorina, Y. S.; Katysheva, N. B. and Sokolova, L. G. 2019. The effect of planting date on winter rye and triticale overwinter survival and yield in eastern siberia. IOP Conf. Ser: earth environ. AGRITECH Sci. 315(3):1-3.
- Pruska, K. A.; Makowska, A. and Kedzior, Z. 2017. Rheological characterization of gluten from triticale (x Triticosecale Wittmack). J. Sci. Food Agric. 97(14):5043-5052.
- Riasat, M.; Kiaani, S.; Saed, M. A. and Mohamed, P. 2019. Oxidant related biochemical traits are significant indices in triticale grain yield under drought stress condition. J. Plant Nutr. 42(2):111-126.
- Zhu, F. 2018. Triticale: Nutritional composition and food uses. Food Chemistry. 241(2):468-479.