

Composición nutricional en granos de triticales (X. *Triticosecale* Wittmack) y usos alimentarios

Nutritional composition in grains of triticales (X. *Triticosecale* Wittmack) and food uses

Alejandro García Ramírez¹, Gilberto Rodríguez Pérez^{1*}, Felipe de Jesús Reynaga Franco¹ y Francisco Cervantes Ortiz²

¹ Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui. Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui, Sonora. C.P. 85276; Alejandro.gr@vyaqui.tecnm.mx; gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx; fe-lipe.rf@vyaqui.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México-Roque. km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 38110. Celaya, Guanajuato; francisco.co@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La necesidad de investigar y evaluar la alternativa de producir triticale en México, para luego, incorporarlo a la cadena agroalimentaria en la alimentación humana es importante, debido a su contenido de proteína (alrededor de 20 % más que el trigo), sumado al mejor balance de aminoácidos y a su grano más rico en fósforo que el grano de trigo. El objetivo de esta investigación fue identificar líneas de triticales (X. *Triticosecale* Wittmack) con base en las propiedades físicas y químicas del grano con valor para la industria alimentaria. Se evaluaron 20 líneas élite de triticales primaverales del programa de investigación del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). El estudio se realizó en 2017 en Celaya, Guanajuato, México. El experimento se aleatorizó en un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones, cada unidad experimental correspondió a cada línea, las variables medidas fueron: peso de mil granos (PMG) peso hectolítrico (PH), humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos fueron determinadas en el laboratorio de análisis de alimentos del TecNM-Roque. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre líneas; se encontraron mayores contenidos de PMG (45.85 g), PH (78.8 kg hL⁻¹) en L-18 y L-20 respectivamente, en grasa, fibra, proteínas y carbohidratos las líneas L-17, L-18 y L-20 obtuvieron mayores promedios, en cenizas el 75 % de las líneas mostraron valores inferiores al 2.0 %.

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

ABSTRACT

The need to investigate and evaluate the alternative of producing triticale in Mexico, to later incorporate it into the agri-food chain for human consumption is important, due to its good protein content (around 20 % more than wheat), added to the better balance of amino acids and its grain is richer in phosphorus than wheat grain. The objective of this research was to identify lines of triticales (X. *Triticosecale* Wittmack) based on the physical and chemical properties of the grain with value for the food industry. Twenty elite lines of spring triticales from the CIMMYT (International Maize and Wheat

Improvement Center) research program was evaluated. The study was carried out in 2018 in Celaya, Guanajuato, Mexico, the experiment was randomized in a completely randomized experimental design with six repetitions, each experimental unit was each line, the variables measured were: thousand grain weight (PMG) hectoliter weight (PH), humidity, ashes, fat, fiber, protein and carbohydrates were determined in the food analysis laboratory of TecNM-Roque. The results showed statistical differences between lines; higher contents of PMG (45.85 g), PH (78.8 Kg hL⁻¹) were found in L-18 and L-20 respectively, in fat, fiber, carbohydrate proteins the lines L-17, L-18 and L-20 obtained higher averages, in ash 75 % of the lines showed values lower than 2.0 %.

Keywords: X. *Triticosecale* Wittmack, physicochemical properties, industrial quality

INTRODUCCIÓN

El triticale (X. *Triticosecale* Wittmack), un cereal artificial de hibridación de trigo y centeno, se utiliza principalmente como alimento para animales; en los últimos años se ha incrementado el interés en utilizar el triticale para la producción de alimentos (Zhu, 2018). Debido a su variabilidad genética y su composición nutricional en el grano se han realizado estudios en diversos productos alimenticios y bebidas de triticale, incluidos los productos de panadería como galletas, pastas, panes y maltas. Existen diversas investigaciones que 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 es importante realizar estudios de este cultivo por las propiedades físico químicas que contiene el grano como una alternativa entre los cereales para diversas aplicaciones de alimentos (Zhu, 2018).

El grano de triticale y la harina constituyen una buena fuente de vitaminas y minerales (Pruska *et al.*, 2017), en general, desde el punto de vista de calidad, los triticales tienen mayor cantidad de proteínas, alrededor de 20 % más que el trigo con un promedio de 3.4 % de lisina en la proteína (Zhu, 2018), que variedades de trigo. Su proteína es más digestiva lo que es valioso por tratarse de un aminoácido esencial que el organismo no sintetiza, por lo tanto, se trata de un produc-

to de gran interés para la alimentación humana. Aunque sus características, tales como la textura del grano y a veces el llenado del grano, juegan en su contra durante la comercialización, puesto que los molinos saben que el rendimiento de harina es inferior al trigo (Pruska *et al.*, 2017). La extracción de harina del grano de triticales puede llegar hasta un 65 % que representa entre 70 y 75 % del peso inicial del grano y comprende aproximadamente el 70 % de las proteínas totales y el 80 % del almidón, aunque es muy variable según la variedad, condiciones de manejo y cosecha (Riasat *et al.*, 2019).

De acuerdo a su valor nutricional, el triticales puede convertirse en un grano de suma importancia para la alimentación humana. Sus factores nutricionales más importantes son el contenido de almidón y la cantidad y calidad de las proteínas como se mencionó anteriormente. Sin embargo, la digestibilidad del triticales es similar a la del trigo y el valor biológico y la utilización de proteínas es un 10 % superior (Riasat *et al.*, 2019). Los granos del triticales pueden ser comparados con el trigo, por obtener buen potencial de rendimiento en ambientes sujetos a déficit hídrico.

Los progresos logrados en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se debieron principalmente al aumento del índice de cosecha, mayor número de granos y espigas, peso hectolítrico y a la disminución de la altura de planta (Noriega-Carmona *et al.*, 2019). Además, la utilidad de las harinas para fabricar galletas, pastas y pan de caja ha sido probada. Por su parte Oliete *et al.* (2010) mencionaron que el triticales puede considerarse para la alimentación humana, sin embargo, se deben aumentar los rendimientos de este cultivo en la calidad de las harinas. El rendimiento en harina y su calidad dependen de la variedad y de las condiciones de cultivo, así como la viscosidad de las harinas. Las harinas de triticales son un poco más oscuras que las de trigo y más claras que las de centeno. El color constituye uno de los principales obstáculos para su aceptación en panadería. El rendimiento en molino del triticales es inferior al del trigo. Esto se debe fundamentalmente a la forma alargada y arrugada del grano, que implica una mayor relación entre la superficie exterior y el volumen, y a las características excesivamente blandas del endospermo (Riasat *et al.*, 2019).

En México, la selección de genotipos de triticales con granos para la molienda son escasos, los estudios se han enfocado a la producción de forraje y grano. Sin embargo, Ammar *et al.* (2004) señalaron que, se siguen buscando los medios de elevar el rendimiento, mejorar la adaptación y su calidad industrial en México. En la actualidad se dedica mayor atención a desarrollar variedades que prosperen en ambientes agrónomicamente subóptimos y que presenten resistencia a enfermedades. Cuando se mejoran características relacionadas con la productividad, suele intentarse una selección indirecta a través de los componentes de rendimiento y caracteres fisicoquímicos (Aisawi *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista predictivo de la selección, es importante saber que la planta de triticales tiene semejanzas morfológicas generales con la planta de trigo, aunque es más robusto y vigoroso y con una espiga más grande (Mon-

temayor *et al.*, 2015). Durante mucho tiempo se trabajó en la combinación de la rusticidad, el vigor y la tolerancia a suelos pobres del centeno, con la calidad de los granos de trigo. Esto permitiría extender la producción de granos a regiones que por factores climáticos y características del suelo son consideradas marginales para trigo, especialmente en México (Montemayor *et al.*, 2015). En aquellas regiones de México donde las enfermedades o las condiciones adversas del suelo restringen el cultivo de trigo, el triticales se ha revelado como un grano alternativo superior para la alimentación humana, sobre todo porque ha demostrado una gran capacidad de adaptación a los suelos ácidos y salinos con la necesidad de contar con variedades de mayores y mejores bondades que satisfagan las necesidades y los requerimientos de la industria (Pattison *et al.*, 2014). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar líneas de triticales en base a sus propiedades físicas y químicas del grano con valor a la industria alimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y ubicación de los experimentos

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de industrias alimentarias del Tecnológico Nacional de México, campus Roque en Celaya, Guanajuato, México, en el 2018 con las siguientes coordenadas geográficas, a 20° 31' Latitud Norte, 100° 45' Longitud Oeste y 1765 msnm. El material genético que se utilizó fueron 20 líneas élite de triticales de hábito primaveral de generación F_8 que fueron seleccionadas en el campo experimental del CIMMYT, Norman E. Borlaug en Ciudad Obregón, Sonora, del vivero YTCL-2015 en abril 2017 (Tabla 1). Posteriormente estas líneas fueron sembradas en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México-Roque en noviembre 2017, donde se obtuvo información de rendimiento de grano, altura de planta, número de espigas, peso de mil granos y peso hectolítrico principalmente. Posteriormente a la semilla de cada línea se realizaron los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de industrias alimentarias del TecNM-Roque, las variables evaluadas fueron: peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH), humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos.

Análisis fisicoquímicos

Para el peso de 1000 granos (PMG), la determinación se realizó por triplicado mediante el conteo de los granos donde posteriormente fueron pesados en una báscula digital, al final el dato se expresó en gramos.

Para peso hectolítrico (PH) se utilizó la metodología de la American Association of Cereal Chemists (AOAC, 2012), al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionado al volumen de 100 L. Las mediciones se realizaron con 10 repeticiones utilizando 200 g por muestra lo cual fue expresado en kg hL^{-1} .

La humedad se determinó por medio de termo balanza marca ADAM con capacidad máxima de 200 g. Se abrió la unidad de calentamiento, colocándose en una charola de aluminio, posteriormente se taró el equipo poniendo los

Tabla 1. Genealogía del material genético de las 20 líneas élite de triticales primaverales en el estado de Guanajuato.**Table 1.** Genealogy of the genetic material of the 20 elite lines of spring triticales in the state of Guanajuato.

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

granos de cada línea de triticales para pesar de 3 a 5 g por cada línea, después de unos minutos se dio la señal acústica, para determinar la lectura en pantalla, marcando peso inicial, peso final y el % de humedad. Se abrió el equipo y se retiró la muestra para proceder a realizar el procedimiento de cada línea evitando cualquier fuente de calor durante el proceso, ya que esto puede producir una pérdida de humedad, se registraron los datos y se realizaron tres repeticiones.

El contenido de proteína cruda se calculó a partir del nitrógeno total utilizando el método de Kjeldhal. 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 se realizó de acuerdo con el método 923.03 de la AOAC (2012). Las extracciones se realizaron en muestras de 1 g de harina que pasaron a través de una malla 80 (0.180 mm). Se utilizó un equipo Soxhlet System HT 1043, con éter de petróleo como disolvente, la determinación se realizó por triplicado.

El análisis de cenizas se realizó en una mufla según la AOAC (2012) con temperaturas de 550°C.

Los carbohidratos se determinaron por diferencia, restando a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los valores se expresaron en g kg⁻¹.

La determinación de fibra se basó en el método de digestión ácida y alcalina de 2.0 g de muestra desgrasada. La muestra se transfirió a un vaso de 600 mL para evitar la contaminación con la fibra de papel, se agregó 1.0 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 adhirieran a las paredes. Después se retiró el vaso y se filtró, posteriormente se lavó el residuo varias veces hasta que las aguas del lavado presentaran un pH igual al agua destilada. Al final, se calcinó a 600 °C durante 30 min para enfriar y determinar su masa.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza completamente al azar con seis repeticiones y en las variables que presentaron diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación de medias diferencia mínima significativa (DMS) $P \leq 0.05$. En la

caracterización de las líneas de triticales se generó una matriz promediando los datos de todas las variables en estudio. Se utilizó el método de UPGMA (media métrica no ponderada) para calcular las distancias y generar los grupos más compactos y homogéneos y así diferenciar los grupos dentro de las líneas de triticales, el criterio del corte fue al visualizar los grupos que se formaron de acuerdo a la distancia nueve. Este método es eficiente, ya que genera conglomerados equilibrados y de tamaño pequeño, además de que tiene interpretación sencilla (Núñez y Escobedo, 2011).

El método de UPGMA asume que las líneas son grupos por sí mismas, luego relaciona los grupos más cercanos basado en la matriz de distancias, recalcula la matriz de distancia y repite el proceso hasta que todas las especies estén conectadas a un único grupo, para generar el dendograma se utilizó el programa Statistic (versión 6.0). Para el gráfico se generó una matriz de datos X (IXJ) mediante los vectores $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i$ para filas y $b_1, b_2, b_3, \dots, b_j$ para las columnas de X, de forma tal que el producto interno aproxime el elemento X_{ij} de la matriz de partida lo mejor posible, el cual considera el análisis para generar el biplot.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Tabla 2, el análisis de varianza indicó diferencias significativas para líneas en todas las variables en estudio. Los efectos que contribuyeron más a la variación total entre las líneas de acuerdo con los cuadrados medios del error fueron en carbohidratos, peso de mil granos y peso hectolítrico, humedad y proteínas. Esto fue debido a la expresión entre las líneas (Fraś *et al.*, 2016), donde se encontraron diferencias en propiedades físicas como PMG y PH en líneas avanzadas de triticales.

Las líneas L-18, L-17, L-14, L-19 y L-20 mostraron mayores promedios en PMG y PH, (Tabla 3), por lo que al peso de grano y hectolítrico suelen considerarse como un indicador del potencial de rendimiento de grano que posee un grupo de variedades o líneas. Kandrokov *et al.* (2019), mencionaron que debe tenerse en cuenta que la morfología del grano 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. Los resulta-

Tabla 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) en 20 líneas élite de triticales primaverales evaluadas en 2018, de las variables fisicoquímicas en el estado de Guanajuato.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) in 20 elite lines of spring triticales evaluated in 2018, of the physico-chemical variables in the state of Guanajuato.

FV	GL	PMG (g)	PH (Kg hL ⁻¹)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)
Líneas	19	32.56**	20.52**	1.04*	0.10*	8.01**	0.19**	33.60**	135.82**
Error	100	10.17	6.26	6.12	0.08	1.36	0.01	3.78	32.39
Total	119	17.45	10.78	7.14	0.08	2.42	0.04	8.53	48.90
CV (%)		7.98	3.33	16.07	14.03	12.45	2.9	15.17	9.09

Tabla 3. Comparación de medias (DMS) de las 20 líneas élite de triticales primaverales de las variables fisicoquímicas, evaluadas en 2018 en el estado de Guanajuato.

Table 3. Comparison of means (DMS) of the 20 elite lines of spring triticales of the physicochemical variables, evaluated in 2018 in the state of Guanajuato.

Línea	PMG (g)	PH (Kg hL ⁻¹)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)
1	38.13 ± 0.62 ^{ab}	68.36 ± 0.96 ^c	15.56 ± 0.21 ^a	2.24 ± 0.23 ^a	2.18 ± 0.11 ^{bc}	3.32 ± 0.13 ^k	9.15 ± 0.11 ^f	61.97 ± 0.70 ^{abcde}
2	39.01 ± 0.62 ^{ab}	73.96 ± 0.99 ^{abc}	15.85 ± 0.76 ^a	1.92 ± 0.01 ^c	2.34 ± 0.78 ^{abc}	3.51 ± 0.04 ^{ghijk}	15.54 ± 0.23 ^{ab}	54.16 ± 0.26 ^e
3	42.79 ± 0.48 ^b	75.36 ± 0.48 ^{abc}	14.78 ± 0.78 ^{ab}	1.93 ± 0.02 ^c	1.23 ± 0.58 ^c	3.57 ± 0.13 ^{fghij}	13.02 ± 0.45 ^{abcdef}	64.85 ± 0.99 ^{abcde}
4	36.23 ± 0.30 ^{ab}	73.26 ± 0.64 ^{abc}	13.67 ± 0.30 ^{abc}	1.92 ± 0.04 ^c	3.47 ± 0.23 ^{abc}	3.38 ± 0.16 ^{jk}	11.12 ± 0.34 ^{cdef}	66.13 ± 0.07 ^{abcd}
5	35.83 ± 0.67 ^b	69.53 ± 0.45 ^{bc}	13.24 ± 0.36 ^{bc}	1.90 ± 0.17 ^{cd}	3.15 ± 0.59 ^{abc}	3.61 ± 0.16 ^{efghi}	13.68 ± 0.34 ^{abc}	58.21 ± 0.17 ^{abcde}
6	42.92 ± 0.96 ^{ab}	75.82 ± 0.21 ^{abc}	12.73 ± 0.09 ^{bc}	2.14 ± 0.11 ^{ab}	2.31 ± 0.24 ^{abc}	3.39 ± 0.32 ^{ijk}	9.43 ± 0.11 ^{def}	63.83 ± 0.28 ^{abcde}
7	45.69 ± 0.63 ^{ab}	76.11 ± 0.33 ^{abc}	12.86 ± 0.17 ^{bc}	1.98 ± 0.02 ^{abc}	1.97 ± 0.41 ^c	3.84 ± 0.13 ^{abc}	13.49 ± 0.11 ^{abcd}	55.79 ± 0.64 ^{cde}
8	37.73 ± 0.06 ^{ab}	74.23 ± 0.16 ^{abc}	15.93 ± 0.77 ^a	1.95 ± 0.08 ^{bc}	1.39 ± 0.22 ^c	3.65 ± 0.14 ^{defgh}	13.32 ± 0.71 ^{abcde}	66.79 ± 0.62 ^{abcd}
9	37.64 ± 0.14 ^{ab}	74.46 ± 0.56 ^{abc}	14.84 ± 0.28 ^{ab}	2.07 ± 0.08 ^{abc}	4.53 ± 0.81 ^{ab}	3.45 ± 0.16 ^{hijk}	11.47 ± 0.23 ^{bcdef}	67.397 ± 0.73 ^{abc}
10	43.50 ± 0.25 ^{ab}	76.66 ± 0.45 ^{ab}	13.42 ± 0.57 ^{bc}	1.96 ± 0.22 ^{bc}	3.38 ± 0.79 ^{abc}	3.68 ± 0.09 ^{bcdef}	14.11 ± 0.34 ^{abc}	59.96 ± 0.58 ^{abcde}
11	42.07 ± 0.68 ^{ab}	76.03 ± 0.98 ^{abc}	12.61 ± 0.45 ^{cd}	2.27 ± 0.23 ^a	2.26 ± 0.11 ^{abc}	3.55 ± 0.15 ^{fghij}	9.27 ± 0.23 ^{ef}	63.14 ± 0.07 ^{abcde}
12	38.28 ± 0.62 ^{ab}	73.23 ± 0.35 ^{abc}	14.05 ± 0.57 ^{ab}	1.94 ± 0.01 ^{bc}	2.42 ± 0.78 ^{abc}	3.76 ± 0.04 ^{abcdef}	14.29 ± 0.25 ^{abc}	55.19 ± 0.41 ^{de}
13	39.16 ± 0.67 ^{ab}	76.56 ± 0.99 ^{ab}	13.25 ± 0.86 ^{bc}	1.96 ± 0.08 ^{bc}	1.31 ± 0.52 ^c	3.82 ± 0.14 ^{abcde}	13.19 ± 0.23 ^{abcdef}	66.08 ± 0.77 ^{abcde}
14	42.94 ± 0.64 ^{ab}	77.96 ± 0.48 ^a	12.03 ± 0.28 ^d	1.84 ± 0.06 ^d	2.05 ± 0.84 ^c	3.62 ± 0.16 ^{defgh}	11.26 ± 0.56 ^{cdef}	68.12 ± 0.06 ^{ab}
15	36.38 ± 0.28 ^{ab}	75.86 ± 0.24 ^{abc}	12.43 ± 0.83 ^{cd}	1.92 ± 0.18 ^c	3.24 ± 0.60 ^{abc}	3.84 ± 0.18 ^{abcd}	13.86 ± 0.11 ^{abc}	59.32 ± 0.36 ^{abcde}
16	35.98 ± 0.53 ^{ab}	75.86 ± 0.56 ^{abc}	13.61 ± 0.87 ^{abc}	2.17 ± 0.25 ^{ab}	2.39 ± 0.65 ^{abc}	3.59 ± 0.19 ^{fghij}	9.55 ± 0.23 ^{def}	65.04 ± 0.54 ^{abcde}
17	43.05 ± 0.97 ^{ab}	78.06 ± 0.45 ^a	10.96 ± 0.81 ^d	1.82 ± 0.21 ^d	4.72 ± 0.06 ^a	3.86 ± 0.04 ^{abc}	16.61 ± 0.68 ^a	72.24 ± 0.77 ^a
18	45.84 ± 0.62 ^a	77.43 ± 0.53 ^a	12.1 ± 0.66 ^{cd}	1.84 ± 0.15 ^d	4.64 ± 0.24 ^a	3.91 ± 0.13 ^{ab}	16.39 ± 0.23 ^a	68.06 ± 0.00 ^{ab}
19	37.89 ± 0.06 ^{ab}	75.26 ± 0.52 ^{abc}	13.04 ± 0.91 ^{bc}	1.85 ± 0.09 ^d	1.47 ± 0.21 ^c	3.73 ± 0.15 ^{bcdef}	11.61 ± 0.11 ^{bcdef}	56.85 ± 0.35 ^{bcde}
20	37.81 ± 0.37 ^{ab}	78.8 ± 0.73 ^a	10.34 ± 0.35 ^d	1.98 ± 0.05 ^{abc}	4.59 ± 0.15 ^{ab}	3.94 ± 0.12 ^a	15.74 ± 0.11 ^a	61.10 ± 0.73 ^{abcde}
DMS (0.05)	9.89	7.76	0.6	0.45	2.45	0.22	4.08	11.96

dos obtenidos fueron debido a las condiciones ambientales en que fueron sembradas las líneas en campo (18 noviembre de 2017). Los resultados indican que el llenado de grano durante el ciclo de siembra fue debido a las 796 horas frío, superando el promedio necesario de 600 horas que requiere el triticale para obtener buen peso hectolítrico y peso de mil granos (CONAGUA, 2018). Se espera que proporcione excelente rendimiento de harinas durante el proceso de molienda en la industria alimentaria. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pomortsev *et al.* (2019) y Giunta *et al.* (2017), quienes mencionan 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 constitución genética de cada línea, poniendo de manifiesto predecir el comportamiento de las líneas al ser evaluadas.

El contenido de humedad tiene gran relevancia porque contenidos mayores a 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 subproductos, por lo que es importante identificar genotipos con contenidos menores del 13 % de humedad para evitar presencia de microorganismos que afecten la calidad en harinas (Zhu, 2018).

La humedad en las líneas L-6, L-7, L-11 y L-14 analizadas fue satisfactoria y confiable para realizar un procesamiento en la elaboración de subproductos debido a que presentaron valores inferiores al 13 %. Por otra parte, 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). En esta investigación se encontraron valores superiores de cenizas y peso hectolítrico en la línea L-20, sin embargo, 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 (Biel *et al.*, 2020). Los niveles de concentración de cenizas en grano que se consideran deseables deben ser menores a 2.0 % (Krasilnikov *et al.*, 2018). 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 una variación entre las diez líneas, solo las líneas L-17, L-18 y L-20 mostraron mayores valores. En general, los cereales tienen bajas cantidades de compuestos lipídicos, el triticale se encuentra entre el 1.5 % de grasas (Wang *et al.*, 2021), los cuales están presentes principalmente en el germen y la capa de aleurona del grano. Por lo tanto, las tres líneas de triticale 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 aumentando 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, se encontraron valores superiores en seis líneas (L-13, L-7, L-15, L-12, L-17 y L-20) donde arrojaron valores por arriba de 3.84 y 3.94 g; el rango para esta variable es de 3.1 g en triticales (Peña *et al.*, 2007). En general las 20 líneas representan buena fuente de fibra, que al consumir 5 g o más de fibra por porción en productos elaborados de triticale, puede prevenir el estreñimiento y además contribuye a que los alimentos pasen más rápido a través del estómago y de los intestinos (Wu *et al.*, 2019). Por otra parte, las líneas L-10, L-12, L-2 y L-17 produjeron mayores concentraciones de proteínas desde 14.11 a 16.61 %. Estos valores difirieron notablemente en las cuatro líneas obteniendo porcentajes superiores a lo mencionado por Xiong *et al.* (2022) quienes reportaron que el triticale tiene usualmente un contenido proteico de 14.3 %. Consecuencia de estos resultados indican que los valores de contenido de proteína son deseables para elaborar subproductos con calidad como pastas y galletas con mayor proporción de proteína; así mismo superaran en un 4.61 % más su contenido de proteína que los trigos (12 %). Gulmezoglu *et al.* (2010) reportaron que los triticales contienen una buena fuente de proteínas, carbohidratos y grasas que pueden utilizarse en la alimentación humana en diferentes productos elaborados para la industria alimentaria en pastas, galletas o panes con harinas propias o mezclas con harinas de otros cereales (Krasilnikov *et al.*, 2018).

En relación al contenido de carbohidratos en el grano se observó que en las líneas L-18, L-14, L-17 y L-9 presentaron valores altos de carbohidratos, al comparar estos valores con los obtenidos por Kandrov *et al.* (2021) quienes encontraron valores inferiores a este estudio. En base a lo anterior, se puede decir que los alimentos ricos en hidratos de carbono están presentes en semillas, pastas, panes, galletas, tubérculos entre otros (Pattison *et al.*, 2014). Estos alimentos son muy importantes ya que representan el 55 % del total de alimentos en la dieta de los países desarrollados y más del 80 % en los países subdesarrollados, lo que las líneas con mayores porcentajes de proteínas, carbohidratos, fibras, las convierte en un grano con excelente valor calórico y con posibilidades de ser utilizado en la elaboración de fórmulas alimenticias para humanos y/o animales (Kandrov *et al.* 2021).

El análisis conglomerado clasificó a las 20 líneas de triticales en cuatro grupos con similitud en base a las características fisicoquímicas del grano (Figura 1). El primer grupo lo conformaron las líneas L-17 y L-18, que aportaron mayor PMG y PH, superando a la media general por 5.91 g y 3.66 kg hL⁻¹ respectivamente. Sin embargo, para cenizas, proteínas, fibra y grasa sus valores fueron superiores por lo reportado por Biel *et al.* (2020) siendo aceptables para la industria molinera, en especial para elaboración de pastas, galletas, macarrones y sopas. Chavoushi *et al.* (2020) refirieron que una buena calidad de harinas en granos de triticales debe ser cuando éstos presenten valores superiores de 14.3 % en proteína, menores de 2.0 % de cenizas y mayores de 1.5 % de grasa.

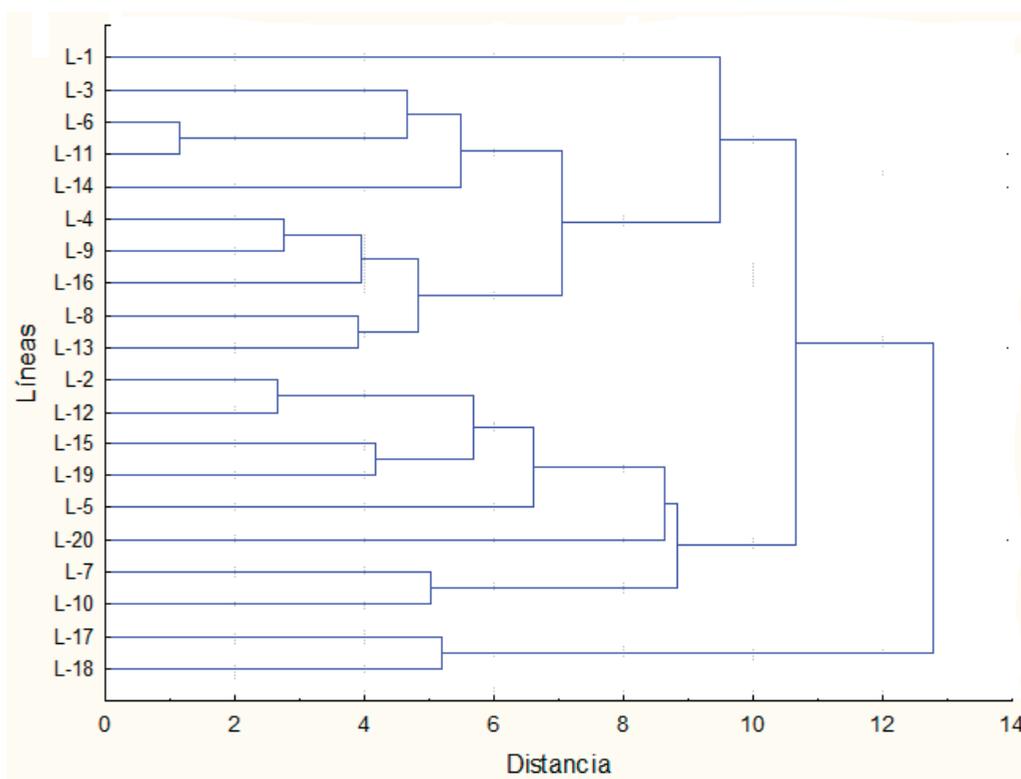


Figura 1. Dendrograma generado en base a los contenidos de parámetros fisicoquímicos de 20 líneas élite de triticales de hábito primaveral, Celaya, Guanajuato, México.

Figure 1. Dendrogram generated based on the contents of physicochemical parameters of 20 elite lines of spring habit triticales, Celaya, Guanajuato, Mexico.

El segundo grupo se formó por el 40 % de las líneas (L-10, L-7, L-20, L-5, L-19, L-15, L-12 y L-2). En este grupo mostró valores inferiores a la media general en PMG, PH y carbohidratos; estos parámetros indican la densidad y/o el grado de llenado del grano principalmente por la morfología del grano característico de las líneas. 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 Kandrov *et al.*, (2019). Cabe señalar que el experimento en campo se realizó en diciembre 2017, lo cual favoreció al llenado de grano, sin embargo, obtuvieron mayores promedios en grasa, fibra y proteínas.

El tercer grupo se formó por el 25 % líneas (L-13, L-8, L-16, L-9 y L-4) donde mostraron promedios inferiores a la media general en PMG, PH, grasa, fibra y proteínas. Sin embargo, estos resultados no son significativos para que sean utilizados en la industria molinera dado que superaron en 4.8 kg hL^{-1} al trigo, en relación a cenizas, humedad y carbohidratos se encontraron promedios superiores a la media general. Xiong *et al.* (2022) refieren que la industria molinera produce tres grados de calidad de harina por sus propiedades fisicoquímicas: 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 por las líneas que se utilizaron las cuales son de diferente origen 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 el 25 %, estuvo conformado por L-14, L-11, L-6, L-3 y L-1, donde presentaron promedios inferiores a la media general en PH, grasa, fibra, proteínas y en PMG. En cenizas solo L-14 y L-3 mostraron valores inferiores al 2.0 % aptas para la molienda. 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 el 12 % a la elaboración de pastas alimenticias. Estas líneas son prometedoras para estar dentro del 12 % para elaborar pasta. Estos resultados coinciden con lo referido por Jing *et al.* (2016) quienes reportaron que el papel de las propiedades funcionales y estructura en harinas de cereales como el trigo y triticales son la base fundamental para tener buena calidad molinera.

La Figura 2 permitió dispersar las 20 líneas en sus propiedades fisicoquímicas con mayor y menor asociación formando tres grupos; el primero contribuyó con el 60 % y se integró por 11 líneas (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

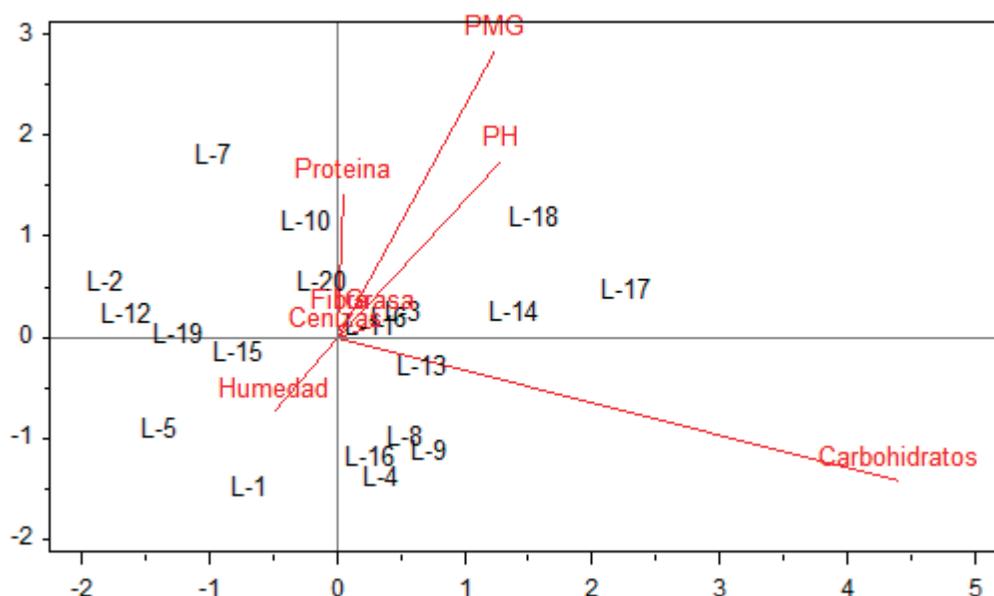


Figura 2. 20 líneas de triticales primaverales con las variables fisicoquímicas, evaluadas en Celaya, Guanajuato.

Figure 2. 20 spring triticale lines with the physicochemical variables, evaluated in Celaya, Guanajuato.

proteínas, grasas y fibra donde L-20, L-2 y L-12 obtuvieron 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 Xiong *et al.* (2022). Los resultados indicaron que estas líneas en específico 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 (Wang *et al.*, 2021). Por lo anterior, los contenidos de estos parámetros pueden ser un factor importante atribuible de las condiciones climáticas en que se colectaron los granos de campo. Los porcentajes de estos parámetros fueron entre 1 a 3 % más que lo reportado por Ferreira *et al.* (2015); quienes refirieron que la calidad de proteína (tipo de gluten) presentes en granos como trigo y triticales son determinantes para el uso potencial en la industria alimentaria. El segundo grupo contribuyó con el 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, ya que se define principalmente por su morfología característica de la 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 (PH) suele considerarse como un indicador del potencial de rendimiento en harinas que posee una variedad o línea durante la molienda, de tal manera que las variedades con PH bajo (menores a 70 kg hL⁻¹) suelen mostrar bajos rendimientos de harina, por esta razón, durante la investigación se encontraron valores superiores en el PH, el valor más inferior fue en L-7 (76.10 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 la concentración de cenizas y humedad fueran mayor de 2.0 y 14 %, respectivamente sobre todo en granos con bajo PH, 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 de 2.0 % para humedad, los contenidos en el grano mayores a 13-14 % favorecen el daño provocando la presencia de microorganismos (Zhu, 2018).

Los niveles de concentración de cenizas en grano que se consideran deseables deben ser menores a 2.0 %. Los resultados indican que este grupo en especial las líneas L-5 y L-15 mostraron valores de cenizas menores a 2.0 %, y humedad. Solo la línea L-15 presentó 12.43 %. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Wang *et al.* (2021) quienes evaluaron la calidad de gluten en el grano de variedades en triticales, encontraron que porcentajes por arriba del 14 % en humedad y por encima del 2.1 % en cenizas contribuyen más en 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 mostraron que es posible utilizar el triticale como una alternativa en la industria alimentaria por su calidad nutrimental que contiene el grano, apta para distintos procesos de elaboración en especial de pastas, panes, tortillas, macarrones y sopas, incluidos los procesos

mecanizados en sus harinas ya sea de manera individual o en mezclas con otros cereales como el trigo y avena. Es necesario modernizar la diversidad de variedades de triticales por su calidad proteica que se cultivan en México. Se recomienda seguir utilizando en futuras investigaciones las líneas L-18, L-17 y L-20 por haber obtenido promedios superiores en las variables de estudio favoreciendo los rangos de calidad industrial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación agradecen al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo por haber proporcionado el material genético.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

REFERENCIAS

- Aisawi, K., Reynolds, M., Singh, R., Foulkes, M. 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.
- AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Ammar, K., Mergoum, M., and Gomez, M.H. 2004. The history and evolution of triticale, the triticale improvement and production. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Biel, W., Kazimierska, H., and Bashutska, U. 2020. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Sci. Pol. Zootechnica* 19 (2), 19–28.
- Comisión Nacional del Agua 2018. Normales climatológicas por estado. Servicio Meteorológico Nacional. Consultado 28 de mayo de 2018. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx>.
- Chavoushi, M., Arzani, A., Kadivar, M., and Sabzalian, M.R. 2020. Evaluation of alveograph parameters and gluten proteins of triticale by using solvent retention capacity method (II). *Innovative Food Technologies*, vol. 7 (2), 163-187.
- Ferreira, V., Grassi, E., Ferreira, A., Santo, H., Castillo, E., Paccapelo, H. 2015. Triticales y tricipiros: interacción genotipo-ambiente y estabilidad del rendimiento de grano. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 31(2):93-104.
- Fraś, A., Gołębiewska, K., Gołębiewski, D., Mańkowski, D., Boros, D., and Szczówka, P. 2016. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *Journal of Cereal Science*. Volume 71, 66-72, p.
- Giunta, F., Motzo, R., Virdis, A., Cabigliera, A. 2017. The effects of forage removal on biomass and grain yield of intermediate and spring triticales. *Field Crops Research* 200: 47-57.
- Gulmezoglu, N., Alpu, O., and Ozer, E. 2010. Comparative performance of triticale and wheat grains by using path analysis. *BJAS*, 16: 443-453.
- Jing, J.W., Guang, L., Yan, B., Huang, Q., Zeng, H., Guo, S.S., Yi, H., Lin, Li., Song, Q.S. 2016. Role of N-terminal domain of HMW 1Dx5 in the functional and structural properties of wheat dough. *Food Chemistry*. 213: 682-690.
- Krasilnikov, V.N., Batalova, G.A., Popov, V.S., Sergeyeva, S.S. 2018. Fatty Acid Composition of Lipids in Naked Oat Grain of Domestic Varieties. *Russ. Agric. Sci.*, 44 (5), 406–408.
- Kandrokov, R.K. 2019. Technological properties of wheat-triticale flour. *Vestn. Yuzhno-Ural. Gos. Univ., Ser.: Pishch. Biotekhnol.*, vol. 7, no. 3, pp. 13–22.
- Kandrokov, R.K., Yudina, T.A., Ruban, N.V. 2021. The Effect of the Wheat and Triticale Grain Mixture Ratio on Technological Properties of Wheat Triticale Flour. *Russ. Agricult. Sci.* 47, 177–181.
- Montemayor, T.J.A., Segura, C.T.M., Munguia, L.J., y Woo, R.J.L. 2015. Productividad del agua en el cultivo de triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) en La Comarca Lagunera de Coahuila, México. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas* Vol.6 Núm.7 28 de septiembre a 11 de noviembre. 1533-1541, p.
- Noriega-Carmona, M.A., Cervantes-Ortiz, F., Solís-Moya, E., Andrio-Enríquez, E., Rangel-Lucio, J.A., Rodríguez-Pérez, G., García-Rodríguez, J.G. 2019. Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:375-384.
- Núñez, C.A.C., Escobedo, L.D. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Revista Agronomía Mesoamericana*. Vol. 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. and Tech.* 45(4):697- 706.
- Peña, B.R.J., Hernández, E.N., Pérez, H.P., Villaseñor, H.E.M., Gómez, V.M., Mendoza, L.A. 2007. Calidad de la cosecha de trigo en México; ciclo otoño-invierno 2006-2007. *Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO*. 24 p.
- Pattison, L.A., Appelbee, M., and Trethoman, R.M. 2014. Characteristics of modern triticale quality: Glutenin and scalin subunit composition in a mixiograph properties. *J. Agric. Food. Chem* 62 (21), 4924-4931.
- Pomortsev, A.V., Dorofeev, V.N., Zorina, S.Y., Katysheva, B.N., Sokolova, G.L. 2019. The effect of planting date on Winter rye and triticale overwinter survival and yield in Eastern Siberia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 315 042031. *AGRITECH*. 5 pp.
- Pruska, K.A., Makowska, A., and Kedzior, Z. 2017. Rheological characterization of gluten from triticale (X. *Triticosecale* Wittmack). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 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. *Journal of Plant Nutrition* 42(2): 111-126.
- Wang, K., Wang, Y., Liu, Z., and Ni, Y. 2021. Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*, vol. 110. 106162.
- Wu, D.T., Liu, W., Han, Q.H., Du, G., Li, H.Y., Yuan, Q., and Qin, W. 2019. Physicochemical characteristics and antioxidant activities of non-starch polysaccharides from different kiwifruits. *International journal of biological macromolecules*, 136, 891-900.
- Xiong, M., Zheng, S., Bai, T., Chen, D., Qin, W., Zhang, Q., Lin, D., Yuntao, L., Liu, A., Huang, Z. and Chen, H. 2022. The difference among structure, physicochemical and functional properties of dietary fiber extracted from triticale and hull-less barley. *Food Science Technology*, vol. 154. 112771 p.
- Zhu, F. 2018. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, February, 15, 241: 468-479.