

ACTIVIDAD DE ALFA AMILASAS Y SU RELACIÓN CON EL TIEMPO DE CAÍDA EN LÍNEAS EXPERIMENTALES DE TRITICALE Y TRICEPIRO DE USO POTENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Picca, Aurora¹@, Ferrari, Enzo¹, Castaño, Mirta¹,
Pereyra Cardozo, María¹, Domínguez, Rodolfo¹ y
Paccapelo, Héctor¹

¹ Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía
@picca@agro.unlpam.edu.ar

Recibido 10/08/2020
Aceptado 19/01/2021

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la actividad de alfa amilasas y el Falling Number (FN) en harinas de diez líneas experimentales de tritíceas cultivadas en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Se realizó la conversión de FN al Número de Licuefacción (LN) para obtener la linealidad de la relación con las alfas amilasas. Se evaluó el grado de asociación de la actividad de las enzimas alfa amilasas con los valores de FN y LN. Se encontró variabilidad genética en la actividad amilásica entre las líneas estudiadas. Algunos genotipos presentaron alta actividad de las enzimas alfa amilasas haciéndolos atractivos para su utilización en la producción de bioetanol. Se obtuvo una correlación de Pearson altamente significativa ($p < 0,001$) de -0,92 entre FN y la actividad de alfa amilasas para el año 2014 y de -0,71 para el año 2015. La alta correlación encontrada entre los valores de FN, LN y la actividad de alfa amilasas, indica que esta técnica podría utilizarse en reemplazo del FN en aquellas situaciones en que no se disponga del equipo.

PALABRAS CLAVE: Actividad amilásica; falling number; número de licuefacción; harina de tritíceas;

ABSTRACT. Alpha amylase activity and its relation with the falling number in experimental strains of triticale and tricepiro with potential use in the production of bioethanol. In the present work, the activity of alpha amylase enzymes and the Falling Number (FN) were determined in flours from ten experimental strains of triticeas cultivated in the Experimental Field of the Faculty of Agronomy, National University of La Pampa, Argentina. The conversion from FN to the Liquefaction Number (LN) was performed to obtain the linearity of the relationship with alpha amylases. The degree of association of the activity of the alpha amylase enzymes with the values of FN and LN was evaluated. Genetic variability in amylase activity was found between the lines studied. Some genotypes showed high activity of the alpha amylases enzymes making them suitable for their use in the production of bioethanol. A highly significant Pearson correlation ($p < 0.001$) of -0.92 between FN and the alpha amylase activity was obtained for the year 2014 and -0.71 for the year 2015. The high correlation found between the values of FN, LN and the activity of alpha amylases, indicates that this technique can be used to replace FN in those situations in which equipment is not available.

KEY WORDS: Amylase activity; falling number; liquefaction number; triticeas flour;

INTRODUCTION

La alfa-amilasa (1,4- α -D-glucanohidrolasa E.C.3.2.1.1) es una enzima natural en los granos

que cataliza la hidrólisis de enlaces alfa-glucosídicos de polisacáridos alfa glucosídicos de alto peso molecular como el almidón. La despolimerización del almidón por las amilasas es la base de varios procesos industriales entre ellos la fabricación de pan y de cerveza (Muralikrishna & Nirmala, 2005). La actividad de amilasas es menor en el endosperma libre de salvado que en el grano entero; dicha actividad

Cómo citar este trabajo:

Picca, A., Ferrari, E., Castaño, M., Pereyra Cardozo, M., Domínguez, R. y Paccapelo, H. (2021). Actividad de alfa amilasas y su relación con el tiempo de caída en líneas experimentales de triticales y tricepiro de uso potencial en la producción de bioetanol. *Semiárida*, 31(1), 35-43.



se ve influenciada por los niveles de nitrógeno y los estadios de madurez del grano (Singh et al., 1978). Las alfa amilasas están presentes en pequeñas cantidades en el grano sin germinar pero su concentración aumenta rápidamente con la germinación (Macri et al., 1986).

El análisis del Falling Number (FN) o tiempo de caída o índice de caída (Hagberg, 1960) mide el daño del almidón en los granos por acción de la enzima alfa amilasa en una germinación temprana. Durante el método se produce la gelatinización rápida de una suspensión de harina o cereal molido en un baño de agua mantenido a 100 °C. La acción de la alfa amilasa sobre el almidón de la muestra produce la licuefacción del gel, midiéndose el tiempo (en segundos) de caída del émbolo agitador. Desde el punto de vista de la calidad panadera, 250 segundos es un valor óptimo para las harinas de trigo, por debajo de 200, comienzan a surgir problemas de calidad por exceso de alfa amilasa que se traducen en miga pegajosa, tendencia al aplanamiento y corteza oscura. Por el contrario, si la actividad de alfa amilasas es baja, el pan tiene un pobre desarrollo y presenta una corteza pálida (Stefan et al., 2015).

Perten (1964) obtuvo relaciones curvilíneas entre FN y actividad de las alfa amilasas tanto en trigo como en centeno y propuso una conversión de FN al número de licuefacción (LN) para obtener la linealidad de la relación. Según Stefan et al. (2015) el número de licuefacción tiene una variación lineal con la actividad de alfa amilasas en las mezclas de harinas, mientras que el FN no está linealmente correlacionado con la actividad de estas enzimas. Estos autores sugieren la conversión de los valores de FN en LN para no cometer errores a la hora de determinar la calidad de harinas para panificación, con especial atención si se trabaja con mezclas de dos o más harinas.

Según Mellado et al. (2008) el triticale tiene tendencia a la germinación de precosecha y a producir elevados niveles de actividad de la enzima alfa amilasa lo que afecta la calidad del grano cosechado. Sin embargo, autores como Mares & Oettler (1991), Trethowan et al. (1994) y Dennett et al. (2013) no encontraron, en todos los genotipos estudiados, una relación directa

entre el alto contenido de alfa-amilasa y el brotado de los granos en precosecha. Una alta actividad de las alfa amilasas, si bien no es una condición propicia para la calidad panadera, es muy favorable para la producción de bioetanol, porque permitiría independizarse del agregado exógeno de enzimas amilolíticas.

Décadas atrás, los granos maduros de triticale en relación a otros cultivos, presentaban altos niveles de actividad de la enzima alfa amilasa y por lo tanto un bajo valor de Falling Number (Mares & Oettler, 1991). Macri et al. (1986) reportaron en cultivares de triticale hexaploide que los valores de alfa amilasa a madurez de cosecha fueron de 10 a 200 veces mayores a los de trigo. Singh et al. (1978) encontraron valores de actividad amilásica en cultivares de triticale hexaploide considerablemente más altos que los que presentaron los triticales octoploides o el trigo hexaploide.

Trabajos recientes mencionan la gran variabilidad existente en la composición química de los cultivares modernos de triticale (Zhu, 2018) y reportan la disminución de la actividad de las alfas amilasas, a raíz de los métodos de selección y mejoramiento de las últimas décadas (Dennett, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad de alfa amilasas y el Falling Number (FN) en harinas de líneas experimentales de triticale y tricepiro de uso potencial en la obtención de bioetanol provenientes del programa de mejoramiento de tritíceas de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina y determinar el grado de asociación de la actividad de alfa amilasa con los valores de FN y LN.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó durante los años 2014 y 2015, en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Argentina, ubicado en la localidad de Santa Rosa a 36° 46' de latitud sur y 64° 17' longitud oeste, a 210 metros sobre el nivel del mar. El suelo se clasificó como Paleustol petrocálcico (Soil Survey Staff, 1999) con escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo,

a una profundidad que varió entre 1,0 y 1,2 m. Los genotipos analizados fueron ocho líneas experimentales de triticale y dos de tricepiro, en la Tabla 1 se detalla el nombre y procedencia de los materiales.

La siembra del ensayo se realizó bajo un diseño estadístico de bloques completos al azar con dos repeticiones. Las parcelas comprendieron siete surcos separados a 20 cm y cinco metros de largo; con una densidad de siembra de 250 semillas m⁻². En madurez fisiológica se cosechó cada unidad experimental. Las muestras de granos se acondicionaron de forma manual, se eliminó la suciedad y el material inerte.

Los registros de lluvia de los años 2014 y 2015 y promedios históricos fueron registrados en el Observatorio meteorológico Ing. Agr. Juan C. Lasalle y provistos por la Cátedra de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.

Determinación de la actividad enzimática

Los granos fueron molidos en un molino Brabender Quadrumat Junior (AACC 26-50) y en las harinas obtenidas se determinó de forma directa la actividad de la alfa amilasa y de forma indirecta según el método de Falling Number o número de caída, por duplicado, siguiendo el

Método 56-81B (AACC 2000). Se realizó la conversión de FN al Número de Licuefacción (LN) para obtener la linealidad de la relación con las alfas amilasas, según la fórmula:

$$LN = \frac{6000}{FN - 50}$$

Donde: 6000 representa una constante; 50 representa el tiempo aproximado en segundos requerido para gelatinizar el almidón de la harina lo suficiente para que esté disponible para ser hidrolizada por las enzimas.

Obtención del extracto enzimático: Para la determinación de la actividad de la alfa amilasa por el método colorimétrico Perten (1966), se preparó el extracto enzimático a partir de 5 g de harina con 100 ml de una solución CaCl₂ al 0,2 %, se incubó a 30 °C durante 60 minutos; y se centrifugó a 3000 rpm durante 30 minutos. Del extracto resultante, se separó el sobrenadante y se incubó a 70 °C durante 30 minutos; a posterior se enfrió y centrifugó durante 30 minutos y se colocó en un tubo.

Determinación de la actividad enzimática: A 15 ml del extracto enzimático se le agregó 5 ml del sustrato (solución de almidón al 2 %, disuelto en CaCl₂ 0,2 %) y se incubó durante 30 minutos a 30 °C; se tomó 2 ml de esta solución y se le agregó 10 ml de solución de iodo de trabajo y 40 ml de agua destilada. La solución de iodo de trabajo se preparó con 40 g de yoduro de potasio en agua destilada y 4 ml solución stock en 1000 ml de agua destilada, mientras que la solución stock fue preparada con 11,0 g KI y 5,50 g de iodo en 250 ml de agua destilada. Posteriormente se leyó la absorbancia a 575 nm en un espectrofotómetro, contra un tubo control (blanco) preparado sin el agregado del extracto enzimático. La actividad enzimática se expresó en UA.g⁻¹ harina, según el siguiente cálculo: [(Ab - Am) / Ab] * 25 = (UA.g⁻¹), donde: Ab, absorbancia del tubo blanco; Am, absorbancia de la muestra; 25, coeficiente de dilución.

Análisis estadístico

Las determinaciones se realizaron por duplicado y se informaron como valor promedio. Se realizó un Análisis de la Varianza conjunto, se consideró a los genotipos y a los años como efectos fijos; las medias se

Tabla 1. Nombre y procedencia de los triticales y tricepiros utilizados en este trabajo.

Table 1. Name and origin of the triticales and tricepiros used in this work.

Nombre	Género	Procedencia
CIM 03 FW/75	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
Espiga Cuadrada	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
C94/510	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
C94/528	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
CIM 820	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
CIM 05 IT/826	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
CIM 05 IT/829	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
CIM 05 IT/830	<i>Triticale</i>	CIMMYT, México
LF 98 x HOROVITZ 5	<i>Tricepiro</i>	INTA, Argentina
LF 53 x HOROVITZ 6	<i>Tricepiro</i>	INTA, Argentina

compararon con el test de LSD de Fisher, con un nivel de significancia del 5 %. La asociación entre las variables se analizó mediante correlación de Pearson. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico InfoStat 2018 (Di Renzo et al., 2018).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la actividad alfa amilásica de ocho líneas de triticale y dos de tricepiro, determinada en forma directa y en forma indirecta por el método Falling Number. Los valores de la actividad enzimática variaron entre 2,5 y 105,61 UA.g⁻¹, con un promedio de 54,05 UA.g⁻¹; y evidenciaron diferencias estadísticas entre los genotipos (MDS = 4,16; p<0,001), e interacción genotipo por año (DMS= 5,89; p= 0,001), pero no presentaron diferencias entre los años (p= 0,16). El coeficiente de variación (CV) obtenido para la actividad enzimática expresó buena exactitud de los resultados. Los valores de actividad de alfa amilasas más altos se reportaron en las líneas de triticale CIM 05 IT/830 y CIM 820 que podrían resultar interesantes para su uso en la obtención de bioetanol; mientras que los valores más bajos se

expresaron en las dos líneas de tricepiros y las líneas de triticale Espiga cuadrada y CIM 03 FW/75, que se diferenciaron significativamente del resto. Los resultados promedios concuerdan con lo publicado por otros autores aunque presentan un rango más amplio que lo informado por Aguirre et al. (1996) y Klassen et al. (1971), quienes obtuvieron valores entre 37,1 a 71,4 UA.g⁻¹ y 3,31 a 45,91 UA.g⁻¹ respectivamente. Esto podría deberse a la amplia variabilidad existente, para esta característica, en las líneas experimentales de triticales y tricepiros utilizados en este ensayo.

Los valores de Falling Number estuvieron comprendidos entre 92 y 432 s, con un valor promedio de 262 s (Tabla 2). El análisis de la varianza para la variable FN presentó diferencias entre los genotipos (DMS= 11,5; p< 0,001), entre años (DMS= 5,1; p< 0,001) e interacción genotipo año (DMS= 16,2; p <0,001). El coeficiente de variación (CV) obtenido para el tiempo de caída fue bajo. Los valores más altos de FN se reportaron en las dos líneas de tricepiros; mientras que los valores más bajos se expresaron en la línea de triticale CIM 05 IT/830, que se diferenció significativamente del resto.

Tabla 2. Valores promedio ± desvío estándar de Alfa amilasas y Falling Number en 8 líneas experimentales de triticale y 2 de tricepiro durante el año 2014 y 2015.

Table 2. Average values ± standard deviation of Alpha amylases and Falling Number in 8 experimental triticales and 2 tricepiros strains during 2014 and 2015.

	Actividad alfa-amilasa (UA.g ⁻¹)		Falling Number (s)		
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	
Genotipos	CIM 05 IT/830	100,44 ± 4,29 a	95,53-105,61	138 ± 51,4 g	92-186
	CIM 820	96,38 ± 0,44 a	96-96,77	173,2 ± 68,6 f	112-245
	C94/528	88,52 ± 1,11 b	87,55-89,48	166 ± 50,8 f	121-210
	CIM05 IT/826	43,56 ± 0,620 c	42,65-44	200,7 ± 83,5 e	128-278
	C94/510	34,31 ± 3,76 d	31-37,63	201 ± 4,24 e	197-207
	CIM 05 IT/829	25,96 ± 9,43 e	17,7-37,63	235,7 ± 48,47 d	194-288
	Espiga cuadrada	11,34 ± 1,51 f	9,48-12,64	259 ± 46,7 c	217-300
	LF 53x Horovitz 6	10,55 ± 3,95 f	7,5-15,8	263,7 ± 31,4 c	245-376
	LF 98 x Horovitz 5	7,61 ± 6,04 fg	2,5-14,8	303,7 ± 67,2 b	293-432
	CIM 03 FW/75	6,12 ± 1,14 g	5,13-7,11	362,7 ± 79,9 a	235-291
	Tukey	4,16		11,5	
	Año	2014	43,13 ± 38,1 a	2,50-105,61	184,65 ± 64,99 b
2015		41,83 ± 36,9 a	5,13-98,85	276,15 ± 74,84 a	179-432
Tukey		1,86		5,14	
CV		6,63		3,37	

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

Estos valores fueron superiores a lo informado en triticale por la mayoría de los autores. Aguirre et al. (1996) reportaron un rango de FN entre 62 (límite menor del test) y 193 s; León et al. (1996), entre 62 y 134 s; Tohver et al. (2005) entre 62 y 357 s y Manley et al. (2011) 62 y 300 s. Por su parte, Mares & Oettler (1991) informaron valores de FN en grano entero entre 62 y 227 s.

La media anual para los valores de FN fue mayor para el año 2015 que para el año 2014. Si bien el total acumulado

de precipitaciones en ambos años es muy similar (2014= 853,4 mm vs 2015= 828,3 mm), la lluvia ocurrida durante del mes de octubre, coincidente con el período de floración, podría ser la explicación más probable a la diferencia de FN entre años (Figuras 1 y 2). Resultados similares fueron obtenidos por Aguirre et al. (1993), quienes informaron una mayor incidencia de los períodos de lluvia entre antesis hasta cosecha pero no encontraron relación entre los valores de FN y las lluvias durante la época de cosecha.

El Falling Number se considera una característica propia de cada variedad, sin embargo, la bibliografía sugiere que las condiciones climáticas tienen un marcado efecto en esta característica en los granos de triticale (Alaru et al., 2003; Tohver et al., 2005; Erekul & Köhn, 2006; Stefan et al., 2015) y trigo (Johansson, 2002; Wang et al., 2008). Alaru et al. (2003) informaron, en años lluviosos, valores mínimos de 62 s en todos los cultivares y rangos entre 97 y 176 s en años secos. Denett et al. (2013), también encontraron diferentes valores de FN asociados a la lluvia registrada en el período, con rangos de 62 a 145 s en períodos lluviosos y de 148 a 322 s en períodos secos.

De acuerdo con Aguirre et al. (1996) los valores de FN de triticale, tienden a ser menores en años con altas precipitaciones y a aumentar en aquellas muestras obtenidas en áreas de cultivo semiáridas. Aguirre et al. (1993) informaron esta relación inversa entre los registros pluviales y los valores de Falling Number, e infirieron que en los años más lluviosos la actividad alfa amilásica es mayor. Dennett et al. (2013) reportaron valores de alfa amilasa ocho veces mayores en los sitios que recibieron lluvias tardías en relación a los demás sitios. Por el contrario, Mares & Oettler (1991) postularon que los cambios en la actividad alfa amilásica son genotipo

dependientes e independientes del período específico de lluvias.

Del análisis estadístico surge que existió interacción genotipo-año tanto en el Falling Number como en la actividad de las alfa amilasas. Esto indica que el comportamiento de los genotipos en los años fue diferente, lo que podría dificultar y enmascarar la identificación de genotipos sobresalientes. En la Figura 2 se observa que el genotipo C94/510 logró valores de FN muy similares en ambos años, el resto de los genotipos siempre fue superior en el 2015. Con respecto a la actividad de alfa amilasas, todos los genotipos mostraron un comportamiento similar durante ambos años, excepto los genotipos CIM/820 y CIM 05 IT/826 (Figura 3) que presentaron valores muy disímiles (96,3 y 43,2 UA.g⁻¹ en el 2014, y 34,2 y 96,38 UA.g⁻¹ en el 2015, respectivamente). Manley et al. (2011) también mencionan en su trabajo la interacción genotipo-ambiente para estas características en triticale.

Relación entre alfa amilasa y Falling Number

Según Peña (1979), la determinación indirecta de alfa amilasas por el método del Falling Number no representa de manera exacta la actividad de estas enzimas, porque los valores obtenidos por esta técnica se ven afectados por la concentración de proteasas y el porcentaje de

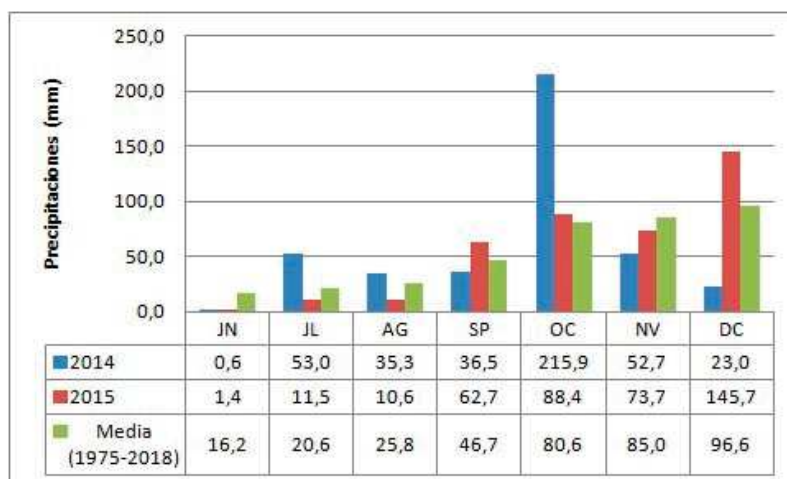


Figura 1. Precipitaciones mensuales registradas en los años 2014 y 2015 y promedio histórico en Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Fuente: Observatorio meteorológico Ing. Agr. Juan C. Lasalle, Facultad de Agronomía, UNLPam.

Figure 1. Monthly rainfall registered in 2014 and 2015 and historical average in Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Source: Meteorological observatory Ing. Agr. Juan C. Lasalle, Faculty of Agriculture, UNLPam.

almidón dañado que tengan las harinas. Si bien algunos datos bibliográficos indican que no existe una relación lineal entre el FN y la

actividad de la alfa amilasa (Perten, 1964; Stefan et al., 2015), la variabilidad de las relaciones obtenidas por los diversos autores es notoria.

Nuestros datos presentan una correlación de Pearson altamente significativa de $-0,92$ ($p < 0,001$) entre FN y la actividad de alfa amilasas para el año 2014 y de $-0,71$ ($p < 0,001$) para el año 2015 (Figura 4 a y b). Por su parte Dennett et al. (2013) encontraron una relación débil ($-0,52$) en triticale, Aguirre et al. (1996) informaron una correlación de $-0,86$, mientras que Hareland (2003), encontró valores de $-0,97$ en cultivares de trigo.

Dennett et al. (2013) quienes trabajaron con trigo y triticale, encontraron que la relación entre el FN y la actividad de alfa amilasas fue muy distinta entre las dos especies. Además de la débil correlación informada anteriormente, la tendencia de los cultivares de triticale demostró claramente no ser equivalente a la de trigo, obteniendo pequeños aumentos en el FN para amplios descensos de actividad enzimática. Estos autores argumentan que el Falling Number en triticale está significativamente correlacionado a una serie de características del grano ampliamente diferentes a las de trigo, concluyendo que los valores de FN en ambas especies no pueden ser comparados.

Por su parte, Perten (1964) también informó diferentes valores de FN para trigo y centeno a igualdad de actividad de alfa amilasas. Tanto este autor como Stefan et al. (2015), sugieren la conversión de los valores de FN en LN para no cometer errores a la hora de determinar la calidad de harinas para panificación, en particular si se trabaja con mezclas

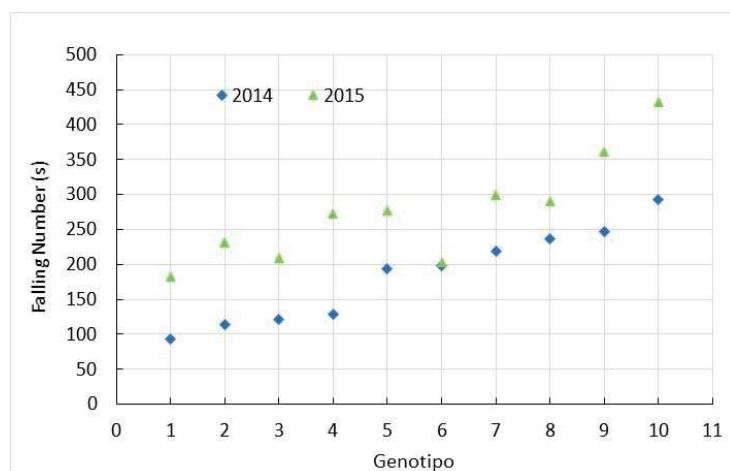


Figura 2. Valores promedio de Falling Number (s) en 8 líneas experimentales de triticale y 2 de tricepiro, durante el año 2014 y 2015. Genotipos: 1: CIM 05 IT/830, 2: CIM 820; 3: C94/528, 4: CIM05 IT/826, 5: CIM 05 IT/829, 6: C94/510, 7: Espiga cuadrada, 8: CIM 03 FW/75, 9: LF 53x Horovitz 6, 10: LF 98 x Horovitz 5.

Figure 2. Falling Number average values in experimental triticales and tricepiros strains during 2014 and 2015. Genotypes: 1: CIM 05 IT/830, 2: CIM 820; 3: C94/528, 4: CIM05 IT/826, 5: CIM 05 IT/829, 6: C94/510, 7: Espiga cuadrada, 8: CIM 03 FW/75, 9: LF 53x Horovitz 6, 10: LF 98 x Horovitz 5.

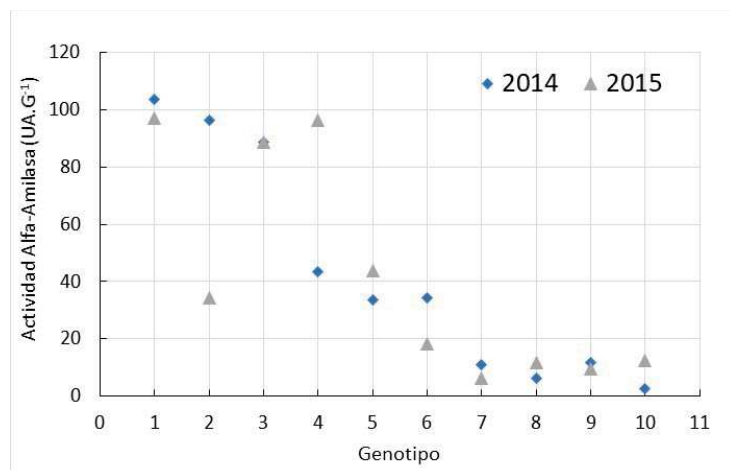


Figura 3. Valores promedio de actividad de alfa amilasas en 8 líneas experimentales de triticale y 2 de tricepiro, durante el año 2014 y 2015. Genotipos: 1: CIM 05 IT/830, 2: CIM 820; 3: C94/528, 4: CIM05 IT/826, 5: CIM 05 IT/829, 6: C94/510, 7: Espiga cuadrada, 8: CIM 03 FW/75, 9: LF 53x Horovitz 6, 10: LF 98 x Horovitz 5.

Figure 3. Alpha amylases activity average values in experimental triticales and tricepiros strains during 2014 and 2015. Genotypes: 1: CIM 05 IT/830, 2: CIM 820; 3: C94/528, 4: CIM05 IT/826, 5: CIM 05 IT/829, 6: C94/510, 7: Espiga cuadrada, 8: CIM 03 FW/75, 9: LF 53x Horovitz 6, 10: LF 98 x Horovitz 5.

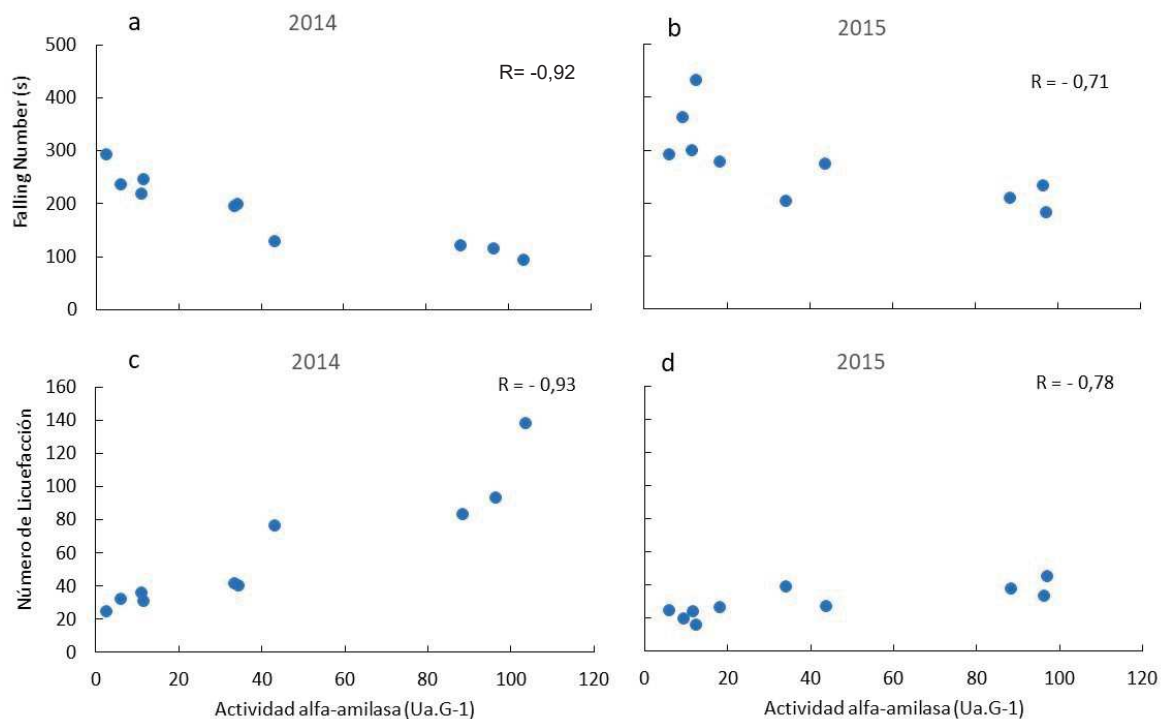


Figura 4. Relación entre Falling Number (FN) y Actividad de alfa amilasa (a,b); y Número de licuefacción (LN) y Actividad de alfa amilasa (c,d) en 8 líneas experimentales de triticales y 2 de tricepiros durante el año 2014 y 2015.

Figure 4. Relationship between Falling Number (FN) and Alpha amylases activity (a,b); Liquefaction Number (LN) and Alpha amylases activity (c,d) in 8 experimental triticales and 2 tricepiros strains during 2014 and 2015.

de dos o más harinas.

En la Figura 4 (b y c) se muestra la relación de LN y alfa amilasas. La conversión de FN en LN no arrojó beneficios en el año 2014, donde se expresaron los menores valores de FN, aunque hubo una leve mejoría en la relación con las alfas amilasas en el año 2015, donde se expresaron mayores valores de FN, a diferencia de lo mencionado por Stefan et al. (2015), quienes concluyeron que con harinas de valores de FN mayores a 250 tal conversión no se hace necesaria ya que por encima de esos valores no se detectan grandes errores al estimar la actividad de las alfa amilasas por medio del Falling Number. Por el contrario, Kiszona et al. (2018) quienes trabajaron con trigos blandos, informaron una moderada relación entre el FN y la actividad de las alfa amilasas (de -0,6 a -0,7) pero concluyeron que la transformación de los valores de FN en LN no generó demasiados beneficios. En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de alfa amilasas y Falling Number para los genotipos estudiados.

La variabilidad obtenida en los valores de FN y actividad de alfa amilasas en los genotipos estudiados indican la factibilidad de seleccionarlos dentro del programa de mejoramiento para distintos tipos de uso. Esto sería acorde a lo mencionado por autores como McGovern et al. (2011), Dennett et al. (2013) y Zhu (2018), quienes postulan que existe una amplia variación en la composición química del triticale, lo que sugiere su potencial como cereal alternativo para varios usos alimenticios, siendo también un cultivo atractivo para la producción de bebidas y biocombustibles.

CONCLUSIONES

Se encontró variabilidad genética en la actividad de la alfa amilasa entre las líneas de triticale y tricepiro estudiadas. Además, la alta actividad amilolítica de algunos genotipos de triticale, permite suponer una alta actividad auto amilolítica en el proceso de producción de bioetanol, sin el agregado de enzimas técnicas, haciendo de estos materiales un sustrato

adecuado para la producción de bioetanol y menor costo respecto de los utilizados convencionalmente.

La alta relación entre los valores de FN y LN con la actividad de alfa amilasas, indica que esta técnica puede utilizarse en reemplazo del FN en aquellas situaciones en que no se disponga del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A., León, A. & Rubiolo, O. (1993). Incidencia del régimen de lluvias sobre valores de Falling Number en triticale. *AgriScientia*, 10, 51-54. doi.org/10.31047/1668.298x.v10.n0.2429
- Aguirre, A., León, A. & Rubiolo, O. (1996). Evaluación de la actividad de α -amilasa en harinas de triticale. *Información Tecnológica*, 7(1), 15-18. https://books.google.com.ar/books?id=MchJxOZJ-2IC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Alaru, M., Laur, Ü. & Jaama, E. (2003). Influence of nitrogen and weather on the grain quality of winter triticale. *Agronomy Research*, 1, 3-10 www.researchgate.net/publication/228753594-Influence_of_nitrogen_and_weather_conditions_on_the_grain_quality_of_winter_triticale
- American Association of Cereal Chemist (AACC). (2000). Approved Methods of the AACC. 10th Edition, AACC, St. Paul. Minnesota
- Dennett, A., Wilkes, M. A. & Trethowan, R. M. (2013). Characteristics of modern triticale quality: the relationship between carbohydrate properties, α -amylase activity, and falling number. *Cereal Chemistry*, 90(6), 594-600. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-12-0129-R>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Ereku, O. & Köhn, W. (2006). Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in North-East Germany. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 192, 452-464. doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00234.x
- Hagberg, S. (1960). A rapid method for determining alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry*, 37, 218-222.
- Hareland, G. A. (2003). Effects of pearling on Falling Number and α -amylase activity of preharvest sprouted spring wheat. *Cereal Chemistry*, 80(2), 232-237. doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.232
- Johansson, E. (2002). Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities, and protein concentration and composition. *Euphytica*, 126, 143-149. doi.org/10.1023/A:1019646916905
- Kiszonas, A. M., Engle, D. A., Pierantoni, L. A. & Morris, C. F. (2018). Relationships between Falling Number, α -amylase activity, milling, cookie, and sponge cake quality of soft white wheat. *Cereal Chemistry*, 95, 373-385. doi.org/10.1002/cche.10041
- Klassen, A. J., Hill, R. D. & Larter, E. N. (1971). Alpha-amylase activity and carbohydrate content related to kernel development in triticale. *Crop Science*, 11, 265-267. doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100020029x
- León, A. E., Rubiolo, A. & Anon, M. C. (1996). Use of triticale flours in cookies: quality factors. *Cereal Chemistry*, 73(6), 779-784.
- Macri, L. J., Balance, G. M. & Larter, E. N. (1986). Changes in the alpha-amylase and protease activities of four secondary hexaploid triticales during kernel development. *Cereal Chemistry*, 63(3), 267-270.
- Manley, M., Snyders, F., McGoverin, C., Fox, G., Muller, M., Kidd, M. & Botes, W. (2011). Evaluation of the compositional and functional quality of South African triticale (\times Triticosecale Wittmack) cultivars. *South African Journal of Plant and Soil*, 28(3), 201-210
- Mares, D. J. & Oettler, G. (1991). α -Amylase activity in developing triticale grains. *Journal of Cereal Science*, 13, 151-160. doi:10.1016/s07335210(09)80032-5.
- McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., & Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1155-1165. doi.org/10.1002/jsfa.4338
- Mellado, M. Z., Matus, I. T. & Madariaga, R. B. (2008). Antecedentes sobre el triticale, en Chile y otros países. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 183. http://biblioteca.inia.cl/link.cgi/catalogo/boletines/antecedentes_sobre_el_triticale_en_chile_y_otros_paises.act
- Muralikrishna, G. & Nirmala, M. (2005). Cereal α -amylases – an overview. *Carbohydrate Polymers*, 60, 163-173. doi.10.1016/j.carpol.2004.12.002
- Peña, R. (1979). Factors affecting grain shriveling in secondary hexaploid triticale (Master of Science Thesis) Kansas State University, pp119.
- Perten, H. (1964). Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry*, 41(3), 127-140. <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1964/Documents/CC1964a16.html>
- Perten, H. (1966). A colorimetric method for the determination of alpha-amylase activity (ICC Method). *Cereal Chemistry*, 43, 336-342.
- Singh, B., Patel, J. A. & Sapra, V. T. (1978). Amylase

Actividad de alfa amilasas y su relación con el tiempo de caída en líneas experimentales de triticale y tricepiro de uso potencial en la producción de bioetanol

- activity in triticale, X Triticosecale Wittmack. *Euphytic*, 27(1), 19-25. doi.org/10.1007/BF00039115
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Agric. Handbook (2nd ed.), USDA Vol. 436.
- Stefan, E. M. Voicu, G., Constantin, G. A., Ferdes, M. & Ionescu, M. (2015). Falling number vs liquefaction number in alpha-amylase activity estimation for bakery flour. International Symposium ISB-INA TEH 2015, Agricultural and Mechanical Engineering, Bucarest, Rumania, 461-466. <https://www.researchgate.net/publication/316991028>
- Tohver, M., Kann, A., Täht, R., Mihhalevski, A. & Hakman, J. (2005). Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chemistry*, 89, 125-132. doi:10.1016/j.foodchem.2004.01.079.
- Trethowan, R. M., Pena, R. J. & Pfeiffer, W. H. (1994). Evaluation of pre-harvest sprouting in triticale compared with wheat and rye using a line source rain gradient. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45, 65-74. doi:10.1071/AR9940065.
- Wang, J., Pawelzik, E., Weinert, J, Zhao, Q. & Wolf, G. A. (2008). Factors influencing falling number in winter wheat. *European Food Research and Technology*, 226,1365-1371. doi.org/10.1007/s00217-007-0666-0.
- Zhu, F. (2018). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, 241, 468-479. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.009.