

Características de grano relacionados con rendimiento de trigo

**Roberto Butrón, Ruth Michma, Eddy Silva, Oswaldo Siñani,
Félix Quispe y Félix Marza**

Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),
Av. Blanco Galindo km 5.5, Casilla 832, Cochabamba, Bolivia.
robertt_b21@hotmail.com

Resumen

El trigo es el cultivo más importante en términos de producción a nivel mundial, debido a su gran valor nutritivo, dado por su alto contenido en carbohidratos que oscila entre 65 al 70%. Una de las características que distingue el trigo harinero domesticado de sus ancestros silvestres es el aumento en el tamaño de grano. Se ha propuesto que el rendimiento de la molienda puede aumentarse mediante la optimización de la forma y tamaño de grano, y el modelado indica que los granos grandes y esféricos proporcionarían la morfología de grano óptimo. Con el objetivo de caracterizar el grano de trigo relacionados con el rendimiento, se evaluó 50 cultivares de trigo harinero del introducidos del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en la localidad de Montenegro del departamento de Cochabamba. El material genético estuvo en constituido por 50 líneas de trigo harinero entre ellos un testigo. La densidad utilizada fue de 100 kg*ha⁻¹. El diseño experimental utilizado fue alfa látice con 2 repeticiones y 5 sub bloques. Se utilizaron estadística univariada y multivariada. Se encontraron asociaciones positivas importantes de características de granos con el rendimiento entre ellos el ancho de grano, tipo de grano, forma de corte transversal de grano elipsoidal, forma de grano y peso de mil granos. Además resaltar la relación negativa entre la profundidad del surco con el peso hectolítrico. Los genotipos que registraron mayor potencial en productividad relacionados para características de grano fueron las líneas 314, 337 y la 325 que tienen excelente llenado de grano, de tipo elipsoidal, de alto peso hectolítrico, rendimientos altos y granos con surcos poco profundos.

Palabras clave: caracterización y rendimiento

Abstract

Wheat is the most important crop in terms of production worldwide because of its high nutritional value, given its high carbohydrate content ranging from 65 to 70%. One of the characteristics that distinguishes bread wheat domesticated from their wild ancestors is the increase in grain size. It is proposed that the grinding performance can be increased by optimizing the shape and grain size, and modeling indicates that large and spherical morphology provide optimum grain. In order to characterize the grain of wheat related to performance, 50 cultivars of bread wheat introduced from CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) in the city of Cochabamba department Montenegro was assessed. The genetic material was in consisting of 50 lines of bread wheat including a witness. The density used was 100 kg ha⁻¹ *. The experimental design was alpha lattice with 2 replications and 5 sub blocks. univariate and multivariate statistics were used. significant positive associations grain characteristics with performance including grain width, grain type, cross-sectional shape of ellipsoidal grain, grain shape and weight of thousand grains were found. Furthermore highlight the negative relationship between the depth of the groove with the test weight. Genotypes showed greatest potential productivity related to grain characteristics were lines 314, 337 and 325 having excellent grain filling, ellipsoidal type, high test weight, high yields and with shallow grooves grains.

Introducción

El trigo es el cultivo más importante en términos de producción a nivel mundial, debido a su gran valor nutritivo, dado por su alto contenido en carbohidratos que oscila entre 65 al 70% (Dubcovsky y Dvorak 2007). Su domesticación data de hace 10000 años en la región de medio oriente. Una de las características que distingue el trigo harinero domesticado de sus ancestros silvestres es el aumento en el tamaño de grano (Fuller 2007; Brown *et al.*, 2009) y un cambio en la forma (Gegas *et al.*, 2010). En parte debido a su efecto sobre el rendimiento, el aumento de tamaño de grano sigue siendo un objetivo de selección y mejoramiento importante en el trigo moderno (Kovach *et al.*, 2007). La forma de grano ha sido priorizada relativamente reciente por las necesidades del mercado y de la industria. De hecho, el tamaño, la densidad y uniformidad son atributos importantes para determinar el valor de mercado del grano de trigo, ya que influye en el rendimiento de la harina (Strange *et al.*, 2014). Se ha propuesto que el rendimiento de la molienda puede aumentarse mediante la optimización de la forma y tamaño de grano, y el modelado indica que los granos grandes y esféricos proporcionarían la morfología de grano óptimo ((Masood *et al.*, 2007). 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 (Fang y Camphell, 2002). Con el objetivo de caracterizar el grano de trigo relacionados con el rendimiento, se evaluó 50 cultivares de trigo harinero del introducidos del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en la localidad de Montenegro del departamento de Cochabamba.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Nacional de Producción de Hortalizas (CNPSH) de la localidad de Montenegro, localizados a 17°26'24" LS y 66°20'38" LO y altitud de 2563 m.s.n.m. El experimento fue establecido en la campaña de invierno 2015. El material genético estuvo constituido por

50 líneas de trigo harinero del vivero 22SAWYT (Ensayo de rendimiento para zonas semiáridas). La densidad utilizada fue de 100 kg*ha⁻¹ en surcos de 4 metros y entre surcos a 0.25 m y se aplicaron 100 kg de fertilizante por hectar (50 kg de 46-0-0 y 50kg de 18-46-0). Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik (Clodinafop) y los de hoja ancha con Ally (Met-sulfuron-metil). El diseño experimental utilizado fue alfa látice con 2 repeticiones y 5 sub bloques. Se registraron las siguientes variables de componentes de rendimiento en base a lo encontrado por Cuellar (2001): altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), densidad de espiga (DES), número de grano por espiga (NGE), tipo de grano (TGR), tamaño de grano (TG), peso de mil granos (PMG), rendimiento (RDTO) y peso hectolítrico (PH). En cuanto a las características de grano fue basado en Hevia (2002): forma de corte transversal del grano (FTCG), profundidad de surco (PS), longitud de grano (LG), ancho de grano (AG) y forma de grano (FG). Se utilizaron estadística univariado (estadística descriptiva y análisis de varianza) y multivariado (Correlación múltiple, componentes principales y método estrella). Para analizar los datos se utilizó los siguientes softwares SPSS^{V23}, SAS ^{V9.4} y R-Project ^{V3.2.3}

Resultados y discusión

La tabla de estadística descriptiva (tabla 1) muestra la altura de planta con un promedio de 76.0 cm con desviación de ±9.93 cm. El número de espigas por metro con el número de granos por espiga obtuvo una media de 331.7 y 47.6 respectivamente. El peso de mil granos, peso hectolítrico y el rendimiento tienen un promedio de 47.6 g, 80.8 kg*hl⁻¹ y 3330.2 kg*ha⁻¹, siendo la última con mayor desviación estándar ±1554.12 kg*ha⁻¹. La profundidad de surco tiene una media de 1 mm siendo la mínima 0.5 mm y máxima de 1.8 mm. La longitud de grano oscila entre 4.4 mm a 7.8 mm con una media de 5.7 mm. Finalmente el ancho de grano presenta un promedio de 5.7 mm y su desviación estándar de ±0.46 mm.

Tabla 1. Estadística descriptiva de características cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDTO: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
AP ²	50.3	98.3	76.0	9.93	-0.22	-0.41
NEM	164.0	582.0	331.7	82.24	0.23	-0.01
LE ²	6.4	9.6	7.9	0.59	-0.27	0.20
NGE	35.3	65.0	47.6	6.74	0.26	-0.67
PMG ⁵	35.0	61.0	47.1	5.14	0.17	-0.28
RDTO ^p	298.4	7232.0	3330.2	1554.1	0.49	-0.28
PH ^e	75.1	85.6	80.8	1.99	-0.12	0.68
PS ^a	0.5	1.8	1.0	0.20	0.75	2.54
LG ²	4.4	7.8	5.7	0.46	0.54	2.22
AG ²	2.1	3.7	3.0	0.30	-1.05	1.78

² cm; ⁵ g; ^p kg*ha⁻¹, ^e kg*hl⁻¹ y ^a mm

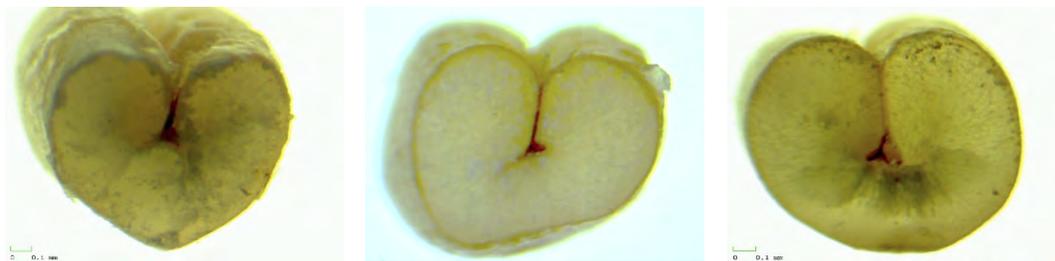


Figura 1: Forma de corte transversal de grano: acorazonada (1), triangular (3) y elipsoidal (5)



Figura 2: Forma de grano: ovalada (1), oblonga (2), ovoide (3), elíptica (4) y redondeada (5).

Tabla 2. Conteo y proporción de características cualitativas de 50 cultivares de trigo harinero introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

Característica	Categorías	Descripción de la categoría	Accesiones	%
Densidad de espiga	1	Muy laxa	0	0
	2	Laxa	1	2
	3	Moderadamente compacta	17	34
	4	Compacta	27	54
	5	Muy compacta	5	10
Tipo de grano	1	Muy chupado	0	0
	2	Chupado	0	0
	3	Casi lleno	6	12
	4	Lleno	23	46
	5	Muy lleno	21	42
Tamaño de grano	1	Grano pequeño (< 6 mm)	3	6
	3	Grano mediano (6-7 mm)	39	78
	5	Grano grande (> 7 mm)	8	16
Forma del corte transversal del grano	1	Acorazonada	7	14
	3	Triangular	17	34
	5	Elipsoidal	26	52
Forma de grano	1	Ovalada	7	14
	2	Oblonga	3	6
	3	Ovoide	19	38
	4	Elíptica	16	32
	5	Redondeada	5	10

El análisis de varianza (tabla 3) se construyó previa verificación de los supuestos de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas de Bartlett. Además, se constató la eficiencia basado en el cuadrado medio del error desarrollada por Masood *et al.*, (2007), sobre el uso del diseño alfa látice respecto a diseños de bloques completamente al azar, superan la barrera de 100% y por lo tanto la elección del diseño fue adecuado. En el análisis de varianza (tabla 3), se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para la fuente de variación líneas, esto indica que el comportamiento de los cultivares produjeron

efectos diferentes sobre las variables evaluadas, con excepción de rendimiento, profundidad de surco y ancho de grano. Los coeficientes de variación para todas las variables de respuesta están por debajo de 25%, lo que indica la existencia de datos poco dispersos y la lectura fueron realizadas apropiadamente. En cambio, los coeficientes de determinación fueron mayores a 75% con excepción de la profundidad del surco y por lo tanto, la magnitud del comportamiento de las variables de respuesta se atribuye a la genética de las líneas de trigo y en menor porcentaje a factores desconocidos.

Tabla 3. Análisis de varianza para variables cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDTO: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

FV	GL	Cuadrados Medios									
		AP	NEM	LE	NGE	PMG	RDTO	PH	PS	LG	AG
Rep	1	594.0**	18282.1**	0.69*	92.76ns	0.85ns	13694819.4**	1.23ns	0.01ns	0.03ns	0.30*
Blq(Rep)	8	186.7**	15973.4**	0.17ns	25.01ns	18.22**	8645212.6**	4.11**	0.03ns	0.09ns	0.14*
Líneas	49	55.6*	4094.9*	0.42**	55.89*	39.64**	986075.21ns	6.29**	0.05ns	0.32**	0.07ns
Error	41	30.26	2650.56	0.15	27.31	4.83	666534.00	0.895	0.034	0.105	0.050
R ²		0.87	0.84	0.82	0.75	0.92	0.89	0.91	0.66	0.80	0.77
CV (%)		7.2	15.5	4.9	11.0	4.7	24.5	1.2	18.1	5.7	7.5

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, Rep: repetición, Blq: bloque, R²: coeficiente de determinación y CV: coeficiente de variación

** : altamente significativo ($p < 0.01$) * : significativo ($p < 0.05$) y ns: no significativo ($p > 0.05$).

Los coeficientes de correlación múltiple para variables cuantitativas se presentan en la tabla 4, donde se observa que 22 coeficientes fueron altamente significativos y 6 significativos. Se consideró que los coeficientes > 0.40 corresponden a asociaciones que presentan patrones naturales de variación basados en lo mencionado por Franco e Hidalgo (2003); de esta forma, las correlaciones más importantes fueron las variables agronómicas, características de grano con el rendimiento.

Entre las variables agronómicas, la correlación más alta correspondió a altura de planta con número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos y rendimiento con $r = 0.536$, $r = 0.382$, $r = 0.380$, $r = 0.519$ y 0.814 $r = 0.345$ respectivamente. Las correlaciones positivas de altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de

mil granos, peso hectolítrico con el rendimiento con $r = 0.814$, $r = 0.536$, $r = 0.382$, $r = 0.380$, $r = 0.519$, 0.814 y $r = 0.345$, estos coeficientes altos y significativos indica que al aumentar las variables mencionadas se traducirá en el incremento del rendimiento en grano, estos datos concuerdan con lo descrito por Cuellar (2001).

Las características de grano, las correlaciones positivas fueron altas para ancho de grano con la altura de planta ($r = 0.584$), longitud de espiga ($r = 0.282$) y peso de mil granos ($r = 0.535$). Sin embargo, las asociaciones negativas de profundidad de surco con el peso hectolítrico ($r = -0.382$) indica a mayor profundidad de surco el peso hectolítrico disminuirá drásticamente, este enunciado coinciden con lo mencionado por Guzmán (2003) y explica que la mayor cantidad de aire que queda atrapado en el surco del grano, disminuye la densidad de grano sin aportar la masas respectiva Hevia (2002).

Tabla 3. Matriz de correlación múltiple para variables cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDTO: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

	AP	NEM	LE	NGE	PMG	RDTO	PH	PC	LG	AG
AP	1									
NEM	0.536**	1								
LE	0.382**	0.020	1							
NGE	0.380**	0.061	0.440**	1						
PMG	0.519**	0.029	0.212*	0.178	1					
RDTO	0.814**	0.696**	0.219*	0.381**	0.426**	1				
PH	0.345**	0.199'	0.095	0.234'	0.293**	0.371**	1			
PS	-0.028	-0.125	0.241'	-0.086	0.058	-0.107	-0.382**	1		
LG	0.082	-0.257**	0.195	0.089	0.364**	-0.051	0.007	0.058	1	
AG	0.584**	0.143	0.282**	0.319**	0.535**	0.496**	0.197'	-0.107	0.290**	1

**la correlación es significativa al $p < 0.01$

* la correlación es significativa al $p < 0.05$

En el análisis de componentes principales la varianza total explicada por los dos primeros componentes es de 70.1% (figura 1), el primero explica 45.2 % y el segundo 24.9 %. Esta selección se basó por los mencionado por Cliff (1987) citado por Hidalgo (2003) recomienda que se deben considerar como aceptables los componentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total. Además la magnitud de las variables observadas todas tiene mayor importancia y se visualiza cuatro grupos de características relacionadas entre sí: la primera, conformada por longitud de grano, longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, ancho de grano, en este grupo destaca las líneas 317, 325, 316, 313, 339, 328 y 329.

La segunda compuesta por altura de planta, rendimiento, tipo de grano, forma de corte transversal del grano, forma de grano, peso hectolítrico, número de espigas por metro cuadrado en este sector se destaca las líneas 314, 312, 350, 337, 338, 349, 333, 312, 327, 335, 340, 346 y 321. En el tercer grupo representado solamente por la variable por la forma de la profundidad del surco. Finalmente el cuarto grupo está asociado las variables de profundidad del surco, densidad de espiga y tamaño de grano, para este conjunto sobresale las líneas 311, 318, 336, 330 y 324. En resumen el primer grupo y el segundo están relacionados directamente e indirectamente con la productividad.

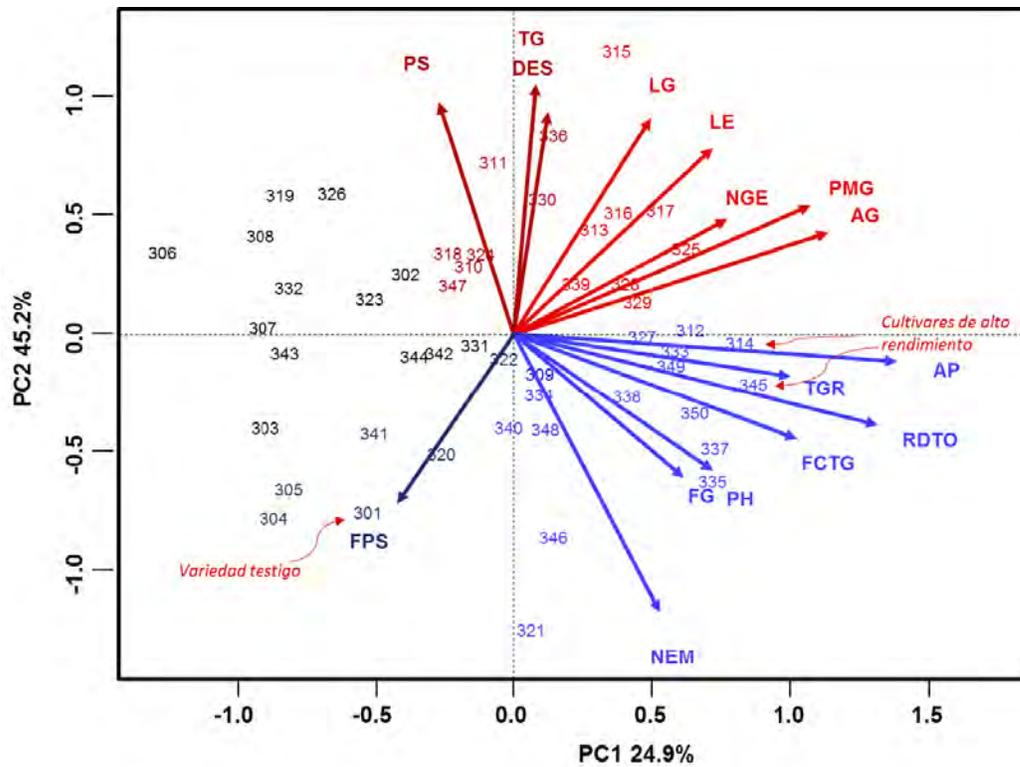


Figura 1. Análisis Biplot de la caracterización de 50 líneas de trigo harinero. Las características evaluadas fueron: AP: altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDTO: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, DES: densidad de espiga, TG: tamaño de grano, TGR: tipo de grano, FCTG: forma de corte transversal de grano y FG: forma de grano.

El método estrella desarrollado por Flores (1993) consiste en dibujar una estrella con tantos radios como variables, correspondiendo un sector del gráfico a una variable y cada figura corresponde a un genotipo. El comportamiento promedio de cada variable será proporcional al área de la estrella y cuando más tienda la forma de esta a la de una circunferencia, mayor será su importancia en el comportamiento del genotipo correspondiente. En la figura 2 se visualiza cultivares de trigo harinero seleccionados a partir de análisis de componentes principales ubicados en el primer y segundo grupo relacionados con productividad.

Resalta las líneas 339, 338, 313, 337, 327, 316, 350, 325, 349, 335, 328, 345 y 314 que tienen en común un excelente llenado de grano y forma de corte transversal de grano elipsoidal. Sin embargo el genotipo ideal se constituye la 314, 337 y la 325 que tienen excelente llenado de grano, de tipo elipsoidal, de alto peso hectolítrico y rendimientos altos; en cambio, de estos tres tienen en común granos con surcos poco profundos. Finalmente los genotipos deficientes para características de grano relacionados con el rendimiento fueron la 346, 321, 334, 348, y 333.

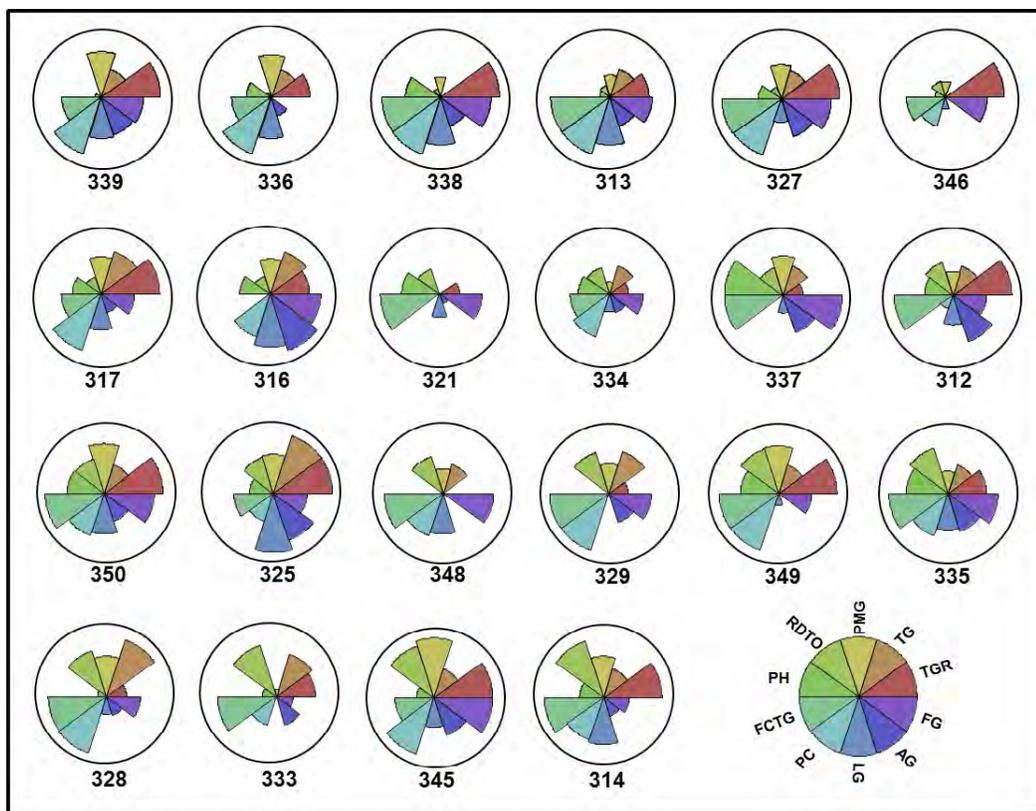


Figura 2. Diagrama de estrella (stars plot) de 22 líneas de trigo harinero seleccionado por características de productividad

Conclusiones

Se encontraron asociaciones positivas importantes de características de granos con el rendimiento entre ellos el ancho de grano, tipo de grano, forma de corte transversal de grano elipsoidal, forma de grano y peso de mil granos. Además resaltar la relación negativa entre la profundidad del surco con el peso hectolítrico.

Los genotipos que registraron mayor potencial en productividad relacionados para características de grano fueron las líneas 314, 337 y la 325 que tienen excelente llenado de grano, de tipo elipsoidal, de alto peso hectolítrico, rendimientos altos y granos con surcos poco profundos.

Referencias citadas

- Bettge, D.B. and Craig, F. 2000 Relationships among grain hardness, pentosanes fractions and end-use- quality of wheat. *Cereal Chem* 77 (22): 241-247.
- Cuellar, H. 2001. Evaluación de un grupo élite de genotipos de trigo y triticale a través de análisis de estabilidad en el altiplano potosino. Tesis Doctoral. San Luis Potosí, México. 83 pag.
- De la Cruz, G. L. 2003. Componentes del crecimiento del grano en variedades de trigo. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario N.33, Roque, Celaya, Gto.México. 17 pag.
- Dubcovsky J, Dvorak J (2007) Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science* 316, 1862–1866. doi:10.1126/science.1143986
- Fang, C. and Camphell, G. 2002. Stress-strains analysis and visual observation of wheat kernel breakage during roller milling using fluted rolls. *Cereal Chem* 79(74):511-517.
- Flores, F. 1993: Interacción Genotipo Ambiente en Vicia faba L. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A.M. Córdoba.
- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Fuller DQ (2007) Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World. *Annals of Botany* 100, 903–924.

- Guzmán, C. 2013. Calidad de trigo. Componentes, metodología y mejoramiento genético. Presentado en la memoria de la 5ta Reunión Nacional de Trigo. Cochabamba, Bolivia 70 pag.
- Hevia, H. 2002. Componentes químicos y algunas propiedades físicas del grano de trigo y su relación con la funcionalidad de las harinas. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- INE, 2011. Instituto Nacional de Estadística. Estadísticas Agropecuarias. La Paz, Bolivia.
- INIAF. 2012. Plan de Implementación del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. 40 p.
- Kovach MJ, Sweeney MT, McCouch SR (2007) New insights into the history of rice domestication. *Trends in Genetics* 23, 578–587. doi:10.1016/j.tig.2007.08.012
- Massod, M.; Malik, S.; Nawaz, N. and Abid, S. 2007. Blocks Within replication improve experimental efficiency in preliminary yield trial on groundnut. *Pakistan Journal Agricultural research*. Vol. 20: 3-4.
- Miralles, D. 2004. Trigo: fisiología de la generación del rendimiento. *Revista Campos del NOA* 2 (6): 7-9.
- Randle, N. 2002. Informe preliminar sobre la calidad de los trigos 2001/2002. Centro Tecnológico GRANOTEC. Buenos Aires Argentina. 25 pag.
- Slafer, G., D. Miralles, Savín, E. Whitechurch S. y González F. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. In: E.H. Satorre *et al.* (eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*; Edit. FAUBA; Bs. As., Argentina: 783 p.
- Strange, A.D., Zwiiggelaar, A., Craig Sturrock, B., Sacha, J., Mooney, B and Doonan, C. 2014. Automatic estimation of wheat grain morphometry from computed tomography data. *Functional Plant Biology*. 12: 90-101.
- Wiegand, C.L. y J.A. Cuellar. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Science* 21: 95-101.