

# Variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo Adaptadas a Condiciones Semi-Aridas

Félix Marza<sup>1</sup>; \*R. Butrón<sup>1</sup>; J. Canelas<sup>1</sup>; B. Huallpa<sup>1</sup>; J. Tenorio<sup>1</sup>; R. Villegas<sup>1</sup> y G. Gutiérrez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),

Av. Blanco Galindo Km 5.5, Casilla 832, Cochabamba, Bolivia

\*e-mail: femarza@hotmail.com

## Resumen

El estudio fue llevado a cabo con el objetivo de identificar la variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo harinero introducidas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Se cuantificaron y cualificaron un total de 25 variables de respuesta en genotipos cultivados durante dos campañas agrícolas (2011-2012 y 2012-2013). El número total de ambientes considerados alcanzo a 15, ubicados a lo largo de siete departamentos de Bolivia. La operacionalización de variables fue a través de métodos paramétricos univariados y multivariados. Se identificaron relaciones de variables pertenecientes afines a los diferentes grupos funcionales. Se identificaron líneas relacionadas con variables de productividad, así como con criterios de tolerancia a factores adversos. Entre las líneas que destacan por características de productividad y calidad se tiene a L-330, L-331, L-327, L-339 y L-303.

**Palabras clave:** trigo, Variabilidad.

## Abstract

The study was conducted with the purpose to identify the phenotypic variability of 50 bread wheat lines introduced from International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). A total of 25 quantitative and qualitative response variables were taking into account for the genotypes during the two growing seasons (2011-2012 and 2012-2013). A total of 15 locations along seven departments of Bolivia were considered. The analysis of variables was performed with univariate and multivariate parametric methods. Groups of related variables belonging to different functional groups were identified. Lines related to productivity and quality was identified, as well as tolerant to adverse factors. The following are the lines that stand for quality and productivity: L-330, L-331, L-327, L-339 and L-303.

**Keywords:** Wheat, Variability

## Introducción

El trigo es el cultivo más ampliamente cultivado a nivel global y representa una importante fuente de energía para la alimentación en Bolivia. El trigo es un rubro priorizado y estratégico para el país donde la producción nacional solo alcanza a cubrir alrededor del 30% de la demanda interna con rendimientos que fluctúan entre 0.6 a 1.6 t\*ha-1 muy por debajo de los índices productivos de los países de la región (INIAF, 2012). La mejora de la productividad tiene que ver con la interacción de todos aquellos factores involucrados en la cadena de valor del rubro. Desde la perspectiva de la investigación, el fortalecimiento de la base genética constituye un componente fundamental. En ella se encuentran los genes que le confieren a los cultivares las características de productividad, tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos y otros identificados en los propósitos del programa de mejoramiento (Skovmand et al.; 1992). Con el objetivo de fortalecer las acciones del Programa, este procedió a la introducción de líneas avanzadas de trigo harinero del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La determinación de los atributos potenciales de cada individuo es crucial para estructurar la pirámide poblacional del programa, por lo que la caracterización de las introducciones es una primera etapa muy importante. Esta permite estimar la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman (Franco e Hidalgo, 2003). Es primordial identificar cuál es el nivel de variabilidad que se intenta medir o describir con el fin de elegir las herramientas o métodos estadísticos adecuados para analizar los datos resultantes de un estudio de caracterización (Enríquez, 1991). El objetivo del estudio fue caracterizar fenotípicamente 50 líneas avanzadas de trigo harinero introducido del CIMMYT correspondiente al ensayo de rendimiento de trigo para zonas semiáridas (vivero 19 SAWYT).

## Materiales y Métodos

El trabajo se realizó durante la campaña agrícola 2011-2012 (San Pedro, Santa Cruz y Sipe Sipe, Cochabamba) y 2012-2013 (Pocona, Rodeo Grande y Tarata, Cochabamba; Alcalá, Sirichaca y Zudañez, Chuquisaca; Caripuyo, Rumi Wiñaska, Potosí; Quirusillas, Santa Cruz; Yesera Norte, Tarija; Condoriri, Oruro y Charazani, La Paz en base la introducción de 50 líneas de trigo del CIMMYT recomendadas para zonas semi-áridas, mismas que fueron evaluadas en condiciones de agricultor. Se evaluaron alrededor de 25 variables cualitativas y cuantitativas que permitieron conocer la variabilidad del germoplasma introducido y los atributos de cada accesión. Para la operacionalización de las variables de respuesta se empleó estadística paramétrica univariada y multivariada.

## Resultados y Discusión

En general los trigos del CIMMYT son de porte pequeño, tolerantes al acame, buena longitud de espiga, con buen número de granos por espiga, tolerantes a las principales enfermedades y con buen potencial de rendimiento muy bien adaptados a condiciones de mega ambiente 4 (condiciones semi-áridas). En el presente estudio se reporta el grado de respuesta diferencial de las líneas a las diferentes condiciones de las áreas trigueras del país.

El comportamiento de las líneas a nivel de las 15 localidades se describe en el cuadro 1 de acuerdo a su clasificación, en la misma se muestran las variaciones obtenidas a través de los estadísticos de rango, observación mínima, observación máxima, media y desviación estándar. Entre las características agromorfológicas y fisiológicas, se distinguen cuantitativas como días a emergencia, precocidad, altura de planta y longitud de arista con margen de variabilidad salientes.

Se destaca también precocidad con líneas que muestran variaciones extremas entre muy precoz a muy tardío, atributos que definitivamente son de mucha importancia en el proceso de selección e identificación de líneas. En esta misma clasificación se encuentra a altura de planta, con un rango de 28 cm, proporcionando información útil con respecto al propósito de su desarrollo.

Respecto a la tolerancia a factores adversos, se pudo evidenciar alta variabilidad entre líneas, evidenciándose la posibilidad de generar un buen avance genético con respecto a la selección de líneas tolerantes, destacándose material con muy buena respuesta con relación a piricularia y roya principalmente.

La tolerancia al desgrane mostro fenotípicamente variaciones diametralmente opuestas, encontrándose líneas con alta

tolerancia al desgrane temprano y otras muy susceptibles. El comportamiento del material estuvo en línea con la aptitud inicialmente descrita (adaptación a zonas semiáridas)

Las variables relacionadas con componentes de rendimiento mostraron comportamientos relativamente dispersos, ejemplo, número de macollos por planta con promedio para las líneas de 3.4 macollos, longitud de espiga alcanzó un promedio de 8.3 cm con una máxima de 13.7 cm y una mínima de 4.2 cm. El estimado promedio para peso de mil granos fue de 37.2 g con una dispersión de  $\pm 8.6$ . Para la variable de rendimiento propiamente dicho, el estimado del promedio fue 5337.0 kg ha<sup>-1</sup>, siendo esta una de las variables exhibiendo mayor variación, pudiendo la misma atribuirse a la naturaleza de las condiciones experimentales a lo largo del país. El número de granos por espiga alcanzó un promedio de 52.4.

**Cuadro 1.** Estadística descriptiva de características cualitativas y cuantitativas de líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT introducidas del CIMMYT, evaluadas en 15 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013.

VARIABLES	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
<b>Características Agromorfológicas y fisiológicas</b>					
Días a emergencia	5.0	4.0	8.0	4.0	1.6
Porte de la planta (1-5) <sup>&amp;</sup>	3.0	2.0	5.0	4.9	0.4
Precocidad (1-5) <sup>€</sup>	4.0	1.0	5.0	3.2	1.2
Altura de la planta (cm)	89.0	23.0	112.0	70.0	14.2
Posición de la espiga (1-5) <sup>£</sup>	4.0	1.0	5.0	3.1	1.9
Densidad de la espiga (1-5) <sup>¥</sup>	4.0	1.0	5.0	3.5	0.8
Color de la espiga (1-5) <sup>¶</sup>	4.0	1.0	5.0	1.6	1.1
Color de grano (1-5) <sup>β</sup>	3.0	2.0	5.0	4.7	0.8
Longitud de arista (cm)	14.0	3.0	17.0	6.9	1.3
<b>Tolerancia a factores adversos bióticos</b>					
Roya (1-5) <sup>²</sup>	2.0	3.0	5.0	4.6	0.5
Septoria (1-5) <sup>²</sup>	3.0	2.0	5.0	4.1	0.6
Piricularia (1-5) <sup>²</sup>	4.0	1.0	5.0	4.3	0.8
Helminthosporium (1-5) <sup>²</sup>	4.0	1.0	5.0	4.1	0.8
Tolerancia a factores adversos bióticos					
Tolerancia a sequía (1-5) <sup>²</sup>	4.0	1.0	5.0	4.0	1.0
Reacción al acame (1-5) <sup>²</sup>	4.0	1.0	5.0	4.7	0.6
Reacción al desgrane (1-5) <sup>²</sup>	3.0	2.0	5.0	4.7	0.6
<b>Componentes de productividad</b>					
Número de macollos	4.3	1.0	5.3	3.4	0.8
Número de espigas por metro cuadrado	262.0	8.0	270.0	116.1	67.1
Longitud de espiga (cm)	11.5	2.2	13.7	8.3	1.6
Número de granos/espiga	66.0	12.0	78.0	52.4	9.3
Tipo de grano (1-5) <sup>¶</sup>	4.0	1.0	5.0	3.2	1.3
Tamaño de grano (1-5) <sup>\$</sup>	4.0	1.0	5.0	2.5	1.3
Peso de mil granos (g)	39.0	19.0	58.0	37.2	8.6
Rendimiento (kg*ha <sup>-1</sup> )	5337.0	1.0	5338.0	1408.9	966.3
<b>Componentes de calidad</b>					
Peso hectolítrico (kg*hl <sup>-1</sup> )	49.0	40.0	89.0	72.3	8.9

&1=muy decumbente, 2=decumbente, 3=semi decumbente, 4=semi erecto y 5=erecto

€1= muy tardío, 2=tardío, 3=intermedio, 4=precoz y 5=muy precoz

£1=muy decumbente, 2=decumbente, 3=semi decumbente, 4=semi erecto y 5=erecto

¥1=muy laxa, 2=laxa, 3=moderadamente compacta, 4=compacta y 5=Muy compacta

¶1=púrpura (morado) a negro, 3=rojo a café y 5=blanco

♠1=púrpura (morado), 3=rojo y 5=blanco

♣1=muy susceptible, 2=susceptible, 3=moderadamente tolerante, 4=tolerante y 5=muy tolerante

♠1=muy chupado, 2=chupado, 3=casi lleno, 4=lleno y 5=muy lleno

\$1=grano pequeño (<6 mm), 3=grano mediano (6–7 mm) y 5=grano grande (>7 mm)

La matriz de correlación de Pearson (Cuadro 2) muestra los diferentes grados de relación entre las diferentes clasificaciones de variables. La tendencia de las relaciones entre grupos de variables funcionales se presentan entre las de precocidad, desarrollo y de componentes de rendimiento. Lo que permite resumir que un buen desarrollo de biomasa en líneas precoces debe constituir parte del ideotipo a identificar en el proceso de selección de líneas. Entre las correlaciones destacables se tiene a días a la emergencia con días a la madurez ( $r=0.90$ ), altura de planta

( $r=0.71$ ), y rendimiento ( $r=0.36$ ). También se encontraron correlaciones entre el número de macollos con número de espigas por metro cuadrado ( $r=0.39$ ), teniendo esta una implicancia de que a mayor número de macollos un mayor número de espigas. En la misma línea, el número de macollos presenta una correlación positiva con el rendimiento ( $r=0.32$ ); correlación positiva entre el peso de mil granos con peso hectolítrico ( $r=0.66$ ). Así mismo, se identificaron asociaciones negativas entre días a madurez con el rendimiento.

**Cuadro 2.** Correlación de variables cuantitativas de líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT introducidas del CIMMYT, evaluadas en 15 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013. Las características son: días a la emergencia (DE), número de macollos (NM), altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de grano por espiga (NGE), longitud de la arista (LA), días a la madurez (DM), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO).

Variables	DE	NM	AP	NEM	LE	NGE	LA	DM	PMG	PH	RDTO
DE	1.00										
NM	-0.08	1.00									
AP	0.71	0.10	1.00								
NEM	-0.05	0.39	0.46	1.00							
LE	-0.127	0.17	0.41	0.38	1.00						
NGE	-0.06	0.16	-0.11	-0.23	0.19	1.00					
LA	-0.08	-0.05	0.24	0.07	0.27	-0.13	1.00				
DM	0.90	0.09	-0.45	-0.03	0.07	0.00	-0.09	1.00			
PMG	0.23	-0.40	0.22	-0.48	-0.39	-0.06	0.04	0.12	1.00		
PH	0.01	-0.30	0.23	-0.18	-0.40	-0.04	-0.26	-0.14	0.66	1.00	
RDTO	0.36	-0.32	0.55	-0.18	0.19	-0.04	0.28	-0.39	0.48	0.26	1.00

Para examinar la agrupación de variables afines y la conformación de componentes no correlacionados, se realizó el análisis de componentes principales. En ella se pudo identificar variables que aportan en mayor magnitud a la varianza. Para la selección de los componentes se empleó el criterio de

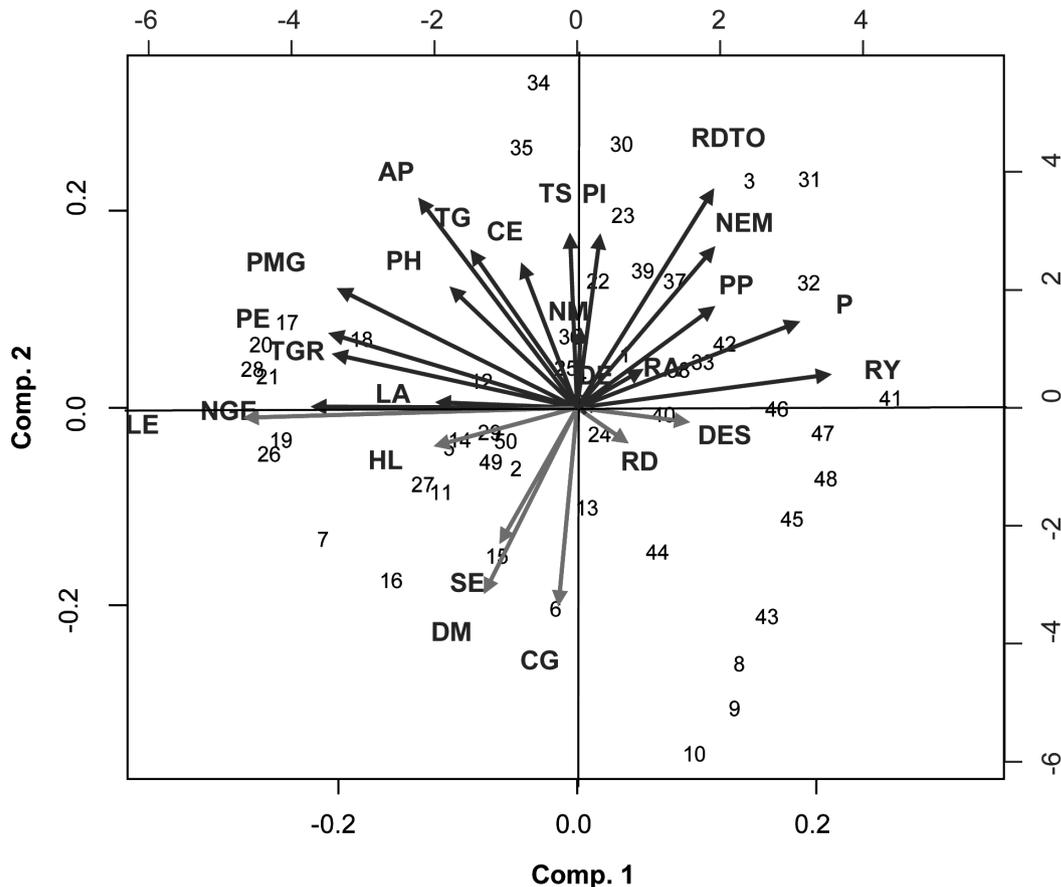
(Franco e Hidalgo, 2003), para la elección en base a la proporción acumulada de la varianza acumulada de 70% (Cuadro 3). De acuerdo a éste criterio se seleccionaron los ocho primeros componentes principales como significativos que explican más del 70% de la varianza total.

**Cuadro 3.** Valores propios y proporción de la varianza explicada en el análisis de los componentes principales en la caracterización de las líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT, introducidas del CIMMYT; evaluadas en 15 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013.

Componentes principales	Valor Propio	Varianza total explicada	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
1	2.042	16.4	16.4
2	1.883	13.9	30.3
3	1.501	8.8	39.1
4	1.390	7.6	46.7
5	1.250	6.1	52.8
6	0.193	5.6	58.4
7	1.121	4.9	63.3
8	1.083	4.6	67.9
9	1.042	4.3	72.2
10	1.011	4.0	76.2

La representación gráfica de componentes principales de la Fig. 1, sintetiza el comportamiento de las diferentes líneas con relación a las variables cuantificadas y cualificadas en el estudio. La lectura se la realiza tomando en cuenta la magnitud del vector, la dirección de las mismas y el ángulo que forman los mismos entre sí, destacándose una asociación en función a la clasificación funcional de las mismas. Algo destacable en función al ángulo de los vectores es la

tendencia de las variables relacionadas con el rendimiento, entre ellos número de espigas por metro, con líneas que muestran tolerancia a la sequía, tamaño de grano, peso de mil granos, tipo de grano y peso hectolítrico. En esta asociación descrita, se destaca la ubicación de las líneas L-330, L-331, L-327, L-339 y L-303. Así mismo líneas como L-323, L-322, L-315 y L-341 que destacan como tolerantes a enfermedades de Piricularia, Roya y Septoria respectivamente.



**Figura 1.** Análisis Biplot de la caracterización de las líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT introducidas del CIMMYT; evaluadas en 15 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), tamaño de grano (TG), color de espiga (CE), tolerancia a la sequía (TS), número de macollos (NM), tolerancia a la piricularia (PI), rendimiento (RDTO), número de espigas por metro cuadrado (NEM), porte de la planta (PP), reacción al acame (RA), precocidad (P), tolerancia a la roya (RY), densidad de espiga (DES), días a la emergencia (DE), reacción al desgrane (RD), color de grano (CG), días a la madurez (DM), tolerancia a la septoria (SE), tolerancia a helmintosporium (HL), longitud de espiga (LE), número de grano por espiga (NGE), longitud de la arista (LA), tipo de grano (TGR), posición de la espiga (PE), peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH)

### Conclusiones

Del estudio se concluye lo siguiente:

La población de líneas introducida presenta una variabilidad fenotípica para diferentes propósitos de mejoramiento, destacándose el aspecto relacionado a la productividad en condiciones restrictivas de humedad.

Se identificaron líneas con aptitudes de

productividad como rendimiento, número de espigas por metro, tamaño de grano, peso de mil granos, tipo de grano y peso hectolítrico entre otros, siendo las mismas las siguientes: L-330, L-331, L-327, L-339 y L-303.

Las líneas L-330, L-331, L-327, L-339 y L-303 muestran cierto grado de tolerancia a factores bióticos adversos.

## Referencias Citadas

- Bramardi SJ. Análisis multivariado. Su aplicación en la caracterización de recursos genéticos. Argentina, Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Canahue, estación experimental. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 2002; 60.
- Caro-Velarde FJ, Machuca - Sánchez ML, Montes HS, Serrano AV, Carballo CA, Ramírez ME, *et al.* 2012. Propuesta de una guía técnica para la descripción varietal de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, A.C. Nayarit. Jalisco. México. Enero de 2012.
- Egaña, B. y Ramírez, L. 2003. GUÍA DE CONCEPTOS DE GENÉTICA CUANTITATIVA. Departamento de Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra Ed. 2003. Navarra, España. 123 p.
- Enríquez G. 1991. Descripción y evaluación de los recursos genéticos: Técnicas para el manejo y uso de recursos genéticos vegetales. Ecuador: Editorial porvenir, 1991: 116-160.
- Fernández, H. 2004. Uso de Marcadores Moleculares RAPD en la Caracterización de Bancos de Germoplasma en Venezuela. Revista Digital CENIAP No. 5.
- 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.
- Franco, J; Crossa, J.; Villaseñor, J.; Taba, S; y Eberhart, S. A. 1998. Classifying genetic resources by categorical and continuous variables. Crop Sci. 38:1688-1696.
- INIAF. 2012. Boletín informativo. Nro. 1
- López J. A. e Hidalgo, M. D. 1994. Análisis de componentes principales y análisis factorial. En: Ato, M. y López, J. J. (eds.). Fundamentos de estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana. p. 457-503.
- Medina, A.; Ramis, C.; Rodríguez, D. y Vegas, A. Variabilidad genética del germoplasma de algunas especies de los géneros *Carica* y *Vasconcellea* (Caricaceae) con el uso de marcadores RAPD. Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Pp.116-124.
- Skovmand, B., G. Varughese y G.P. Hettel. 1992. Los recursos genéticos de trigo en el CIMMYT: Su conservación, enriquecimiento y distribución. México, D.F.: CIMMYT.
- Tapia, C. G. 1998. Caracterización morfológica y molecular de la diversidad genética de la colección de *Pachyrhizus tuberosus* (LAM.) Spreng. del CATIE. Tesis Mag. Sci., CATIE. Turrialba, Costa Rica. 157 p.