

## Estabilidad fenotípica de nueve líneas élites de trigo biofortificado en seis ambientes del área tradicional triguera de Bolivia

### Phenotypic stability of nine elite lines of biofortified wheat in six environments of the traditional production area of Bolivia

Roberto Butrón<sup>1\*</sup>, Félix Marza<sup>1</sup>, Gilberto Gutiérrez<sup>1</sup>, Félix Quispe<sup>1</sup>, Jorge Calderón<sup>1</sup>,  
Amalia Maydana<sup>1</sup> y Freddy Pacsi<sup>1</sup>

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

Av. Blanco Galindo m. 5 1/2K, Calle Manuel Anaya, Cochabamba, Bolivia

\*Autor para correspondencia: robertt\_b21@hotmail.com

Recibido: 1 septiembre 2017; Publicado: 30 junio 2018

#### Resumen

Con el objetivo de identificar cultivares de trigos biofortificados de alta productividad, estable en amplio rango de ambientes y de alta calidad, se evaluó diez cultivares élites de trigos biofortificados en seis ambientes del área tradicional de producción de trigo de Bolivia. El estudio fue desarrollado en la gestión agrícola 2016-2017. Las líneas fueron establecidas en ambientes con alta capacidad de discriminación de genotipo por ambiente en el marco de la Red Nacional de Ensayos de Trigo del Programa de Mejoramiento del INIAF. Se evaluaron once variables cuantitativas entre ellos de componentes de calidad y de rendimiento. Para analizar los datos se emplearon herramientas univariados y multivariados para determinar los parámetros de estabilidad y adaptabilidad específica de los materiales genéticos en estudio. Se identificaron líneas élites de trigos biofortificados con amplia estabilidad y adaptabilidad específicas para ambientes con características distintivas en el área tradicional de producción de trigo. Las líneas elites de trigo 403 y 415 mostraron un excelente comportamiento en el departamento de Cochabamba, y Tarija con buena proyección para el resto de los ambientes, estudiados además se destaca por su buen performance para características de calidad. Los modelos univariados y multivariados permitieron determinar los parámetros de estabilidad de los genotipos y contribuyeron a

seleccionar materiales sobresalientes que tengan menor interacción genético ambiental, pero de alta productividad. Las poblaciones que fueron estudiadas la mayoría tienen altos contenidos en hierro y zinc (biofortificadas) en comparación a cultivar testigo, el mismo permite avizorar ganancias genéticas muy importantes en pos aportar con tecnología para sectores trigueros donde la producción está destinada para el autoconsumo.

**Palabras claves:** Estabilidad, Biofortificado

#### Abstract

In order to identify biofortified wheat cultivars of high productivity, ten elite cultivars of biofortified wheat were evaluated in six environments of the traditional zone of wheat production of Bolivia. The study was developed in 2016-2017. The wheat lines were established in environments with high genotype discrimination capacity of the National Program of Wheat Improvement of INIAF. Eleven variables were evaluated, including quality and performance components. To analyze the data, univariate and multivariate tools were used to determine the parameters of stability and specific adaptability of the genetic materials under study. Eligible lines of biofortified wheats with specific stability and adaptability into specific environments with distinctive characteristics in the traditional area

of wheat production were identified. Wheat lines 403 and 415 have an excellent performance in the department of Cochabamba, Tarija and have good projection for the rest of environments selected., also stands out for its good performance for quality features. The univariate and multivariate models allowed to determine the stability parameters of the genotypes and contributed to select outstanding materials that have less environmental genetic interaction, but of high productivity. The populations that were studied most have high iron and zinc (biofortified) contents compared to control cultivar, it allows to see very important genetic gains in order to contribute with technology for wheat sectors that the production is destined for the self-consumption.

**Keywords:** stability, biofortified

### Introducción

El trigo (*Triticum aestivum*, L.) es uno de los cereales más importante en la alimentación humana porque es fuente principal de calorías que consume la población mundial y que 80 millones de agricultores en el mundo en desarrollo dependen de la producción de trigo para obtener su sustento y generar ingresos (Lantican *et. al.*, 2016). Su importancia, radica en su aporte en la alimentación debido a su valor nutritivo y al alto contenido en carbohidratos que oscila entre 65 al 70%. En Bolivia el trigo se constituye en la base alimenticia de la población. El consumo per cápita es de 69 kg año<sup>-1</sup>, la demanda anual alrededor de 700 mil t, el análisis histórico de los últimos 10 años indica que la producción se encuentra entre 145 a 255 mil t año<sup>-1</sup>, representando del 21 al 36% de satisfacción de la demanda interna. El rendimiento nacional fluctúa entre 0.9 a 1.4 t ha<sup>-1</sup>, con mejor rendimiento en el oriente 0.9 a 1.9 t ha<sup>-1</sup> mientras en el área tradicional oscila entre 0.7 a 0.9 t ha<sup>-1</sup> (INE, 2015). La biofortificación es una estrategia basada en productos alimenticios de origen agrícola. A partir de estos productos se puede

suministrar micronutrientes deficitarios tales como hierro, zinc, vitamina A entre los principales. Con cultivos biofortificados se podría mejorar el perfil nutricional entre 12 y 48%. Los niveles de Zn en el grano de trigo varían entre poblaciones silvestres, criollos y modernas que oscilan entre 13 mg kg<sup>-1</sup> a 190 mg kg<sup>-1</sup> (Welch y Graham, 2005). Otro componente muy importante para la producción de trigo es la estabilidad en el rendimiento de trigo, esta se cuantifica con la finalidad de proporcionarle certeza al productor y desde el ámbito técnico consiste en determinar la adaptación de líneas específicas avanzadas a un ámbito de ambientes productivos donde el rubro es de importancia. Los ambientes pueden variar en prácticas de manejo, la presión de factores bióticos, así como en condiciones edáficas y climáticas. Las posiciones relativas entre los genotipos evaluados en diferentes ambientes a menudo difieren entre ellas, por lo que se dificulta la identificación del genotipo más deseable (Eberhart y Russell, 1966).

El programa de mejoramiento del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) viene trabajando para contribuir con la generación de variedades estables en su producción, particularmente para rendimiento, calidad y tolerancia a factores abióticos y bióticos adversos, atributos que son muy importantes al momento de que los productores adopten los nuevos cultivares. La interacción genotipo por ambiente representa una de las principales dificultades encontradas en los procesos de selección; lo que puede ocasionar que los mejores en un ambiente no sean los mejores en otro, dificultando el proceso de recomendación de cultivares para una amplia gama de ambientes; siendo necesario la selección de genotipos para un ecosistema o sistema de producción específico. Con el objetivo de identificar cultivares de trigos biofortificados de alta productividad, estable en amplio rango de ambientes y de alta calidad se evaluó diez cultivares élites de trigos biofortificados en seis ambientes de la zona tradicional de producción de trigo de Bolivia.

### Materiales y métodos

Las nueve líneas élites de trigos biofortificados fueron seleccionados por el Proyecto Nacional de Trigo del INIAF (Tabla 1), a partir de una población de 50 líneas avanzadas (F7) de trigos biofortificados del vivero 5HPYT (Harvert Plus Potencial Yield

Trial) introducidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Al ensayo, se adicionaron una variedad testigo (variedad más cultivada) para efectos de comparar la superioridad o inferioridad de los materiales en términos de productividad, estabilidad y calidad.

**Tabla 1.** Líneas élites de trigos biofortificados y una variedad testigo

No.	Cruza	Historia de selección	Cruza
1	Testigo*		401
2	TRAP#1/BOW/3/VEE/PJN//2*TUI/4/BAV92/RAYON/5/ KACHU #1/6/TOBA97/PASTOR/3/T.DICOCCON PI94624/ AE.SQUARROSA (409)//BCN/4/BL1496/MILAN//PI 610750	CMSS10Y00677S- 099Y-4M-1Y-0B	438
3	FRANCOLIN #1/3/CROC_1/ AE.SQUARROSA(210)//2*PBW343*2/KUKUNA	CMSS10Y00629S- 099Y-27M-3Y-0B	415
4	HUW234+LR34/PRINIA//PFAU/WEAVER*2/4/CMH75A.66/H ER//CMH75A.66/3/AGA/4* YR	CMSS09B01072T- 099TOPY-099M- 099Y-3M-0WGY	406
5	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/PBW343*2/TUKURU/5 /C80.1/3*BATAVIA//2* WBLL1/6/CMH75A.66/SERI/7/MUNAL #1	CMSS09B01117T- 099TOPY-099M- 099Y-20M-0WGY	409
6	FRANCOLIN #1/7/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUAR ROSA (213)//PGO/4/HUITE S/5/T.SPELTA PI348599/6/REH/ HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/ 4/ HUITES	CMSS10Y00628S- 099Y-5M-3Y-0B	414
7	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (444)/3/T.DICOCCON PI946 25/AE.SQUARROSA (372)//3*PAS TOR/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CMSS10Y00645S- 099Y-8M-2Y-0B	424
8	TRCH/SRTU//KACHU/8/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/ AE.SQU ARROSA (213)//PGO/4/HUITES/5/T.DICOCCON PI94624/AE. SQUARROSA (409)//BCN/6/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1 /AE.SQUARROSA (213)//PGO/4/HUITES/7/MUTUS	CMSS10Y00708S- 099Y-4M-0WGY	410
9	TRCH/SRTU//KACHU/3/IWA 8600211//2*PBW343*2/KUKUNA	CMSS10Y00710S- 099Y-30M-3Y-0B	443
10	KACHU #1	CMSS97M03912T- 040Y-020Y-030M -020Y-040M-4Y-2M- 0Y	403

\*Variedad Testigo (Cochabamba y Chuquisaca: INIAF-Totora 2014; Tarija: Br-18 y Santa Cruz: Motacu)

Las localidades donde fueron evaluados fueron seis ambientes más representativos del área tradicional

de producción de trigos distribuidos en cuatro departamentos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Localización de los seis ambientes donde fueron establecidos los ensayos durante la campaña agrícola 2016-2017

Departamento y/o Región	Provincia	Municipio	Localidad	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m.)
				Latitud LS	Longitud LO	
Cochabamba	Tiraque	Tiraque	Toralapa	17°28'42"	65°39'15"	3539
	Carrasco	Pocona	Cruce Incallajta	17°36'38"	65°17'04"	2779
Tarija	Cercado	Tarija	Yesera norte	21°21'60"	64°33'11"	2342
	Aniceto Arce	Padcaya	Chaguaya	21°53'27"	64°49'38"	2042
Chuquisaca	Yamparaez	Yamparaez	Pampas	19°11'64"	65°09'85"	3450
Santa Cruz	Vallegrande	Vallegrande	Vallegrande	18°27'30"	64°04'53"	2047

Para el establecimiento, manejo de los ensayos se utilizaron: equipos y maquinaria de campo como son: tractor agrícola con sus implementos (arado reversible, rastra y surcadora), motofumigadora (Marca Shindaiwa: Modelo: ES 726) y GPS (Marca Garmin: modelo ETREX). Para efectos de cuantificar las variables de las características de grano se utilizaron una balanza de precisión (0,1 g; Marca OHAUS: Model Traveler TA301) y analizador de imágenes SeedCount (Marca Next Instruments: Modelo SC-5000TR) y finalmente los equipos utilizados para efectos de cuantificar característica de calidad fueron: NIR (Marca Foss: Modelo DA 7200), SKCS (Marca PERTEN: modelo 4100) y espectrómetro de fluorescencia RX (Marca Xenometrix: Modelo X-CITE SDD).

Nueve líneas élites entre ellas la variedad testigo fueron evaluados bajo el diseño de bloques completamente al azar; se emplearon tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida de 5 surcos de 4 m de longitud y 0.25 entre surcos. Las semillas fueron sembradas bajo una densidad de siembra de 100 kg ha<sup>-1</sup>.

Los ensayos fueron sembrados manualmente a chorro continuo. La fertilización se realizó 32N-23P-0K; en la siembra se aplicó el 50% del nitrógeno y todo el fósforo. Para el manejo de malezas con herbicidas se aplicaron dos tipos de productos Metsulfuron-metil (hoja angosta) y Clodinafop (hoja ancha), previa identificación y relevamiento de la flora malezas (Tabla N) cuya densidad de población justificó la aplicación de los herbicidas mencionados.

**Tabla 3.** Herbicidas utilizados cultivares de trigos biofortificados

Nombre comercial	Nombre del ingrediente activo	Dosis	Momento de aplicación
Hoja ancha Meturon	Metsulfuron-metil	6-7 g ha <sup>-1</sup>	15 a 20 días después de la emergencia
Hoja angosta Topik	Clodinafop	0.2 l ha <sup>-1</sup>	Inicio de macollamiento

Para el presente estudio fueron evaluadas siete variables asociadas a componentes de rendimiento y cuatro variables asociados a componentes de

calidad. En la Tabla 4 se describen los nombres de las variables de respuesta, símbolo, unidades de medida, momento fenológico de medición.

**Tabla 4.** Variables de respuesta de componentes de rendimiento y de calidad

Nº	Variable	Símbolo	Unidades de medida	Instrumento de medición	Momento de evaluación
<b>Componentes de rendimiento</b>					
1	Número de macollos	NM	unid.	conteo	Macollaje
2	Altura de planta	AP	cm	flexómetro	Madurez fisiológica
3	Número de espigas por metro cuadrado	NEM	unid.	conteo y flexómetro	Madurez fisiológica
4	Longitud de espiga	LE	cm	flexómetro	Madurez fisiológica
5	Número de espiguillas por espiga	NEE	unid.	conteo	Madurez fisiológica
6	Peso de mil granos	PMG	g	SeedCount	Post cosecha
7	Rendimiento	RDTO	kg ha <sup>-1</sup>	Balanza de precisión	Post cosecha
<b>Componentes de calidad</b>					
8	Peso hectolítrico	PH	kg hl <sup>-1</sup>	SeedCount	Post cosecha
9	Proteína	P	%	NIR	Post cosecha
10	Dureza	D	%	SKCS	Post cosecha
11	Índice panadera	W	índ.	NIR	Post cosecha

Los análisis estadísticos para el presente trabajo fueron los siguientes: estadística descriptiva, análisis de varianza, estabilidad fenotípica univariada (Eberhart y Russell, 1966; Wricke 1962 y Shuckla, 1972), estabilidad fenotípica multivariada (AMMI, 1976; GGE Biplot, 2001)

#### a) Análisis estadístico descriptivo

Resume y describe el comportamiento de la expresión fenotípica de las variables cuantitativas evaluadas, para el estudio se consideró el análisis de tendencia central, dispersión y distribución.

#### b) Análisis de varianza

El primer paso en el análisis del comportamiento de una serie de genotipos en diferentes ambientes es la identificación estadística de una interacción genotipo ambiente significativa. Esto requiere llevar a cabo un análisis de la varianza de los ensayos en estudio.

Este análisis sólo es posible si las varianzas del error no son estadísticamente heterogéneas: recordemos que se trata de uno de los supuestos en que se fundamenta el análisis de la varianza, el modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = observación de la variable de la respuesta

$\mu$  = media general

$\beta_j$  = efecto del  $j$  – *ésimo* bloque

$\tau_i$  = efecto del  $i$  – *ésimo* cultivar

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Para efectos de analizar las varianzas del conjunto de los ensayos de las siete localidades, se estableció un modelo mixto de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j(\alpha_i) + Y_k + (\alpha Y)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = observación de la variable de la respuesta

$\mu$  = media general

$\alpha_i$  = efecto del  $i$  – *ésimo* ambiente

$\beta_j(\alpha_i)$  = efecto del  $j$  – *ésimo* bloque anidado en el  $i$  – *ésimo* ambiente

$Y_k$  = efecto del  $k$  – *ésimo* cultivar

$(\alpha Y)_{ik}$  = efecto de la interacción del  $i$  – *ésimo* ambiente por el  $k$  – *ésimo* cultivar

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

**c) Análisis de estabilidad de Eberhart y Rusell**

Para el análisis de estabilidad fenotípica se utilizaron los métodos propuestos por Eberhart y Russell, 1966.

En este caso, se incluye al coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ), calculado con base en el efecto ambiental (índice ambiental), considerado fijo, y a la varianza de las desviaciones de regresión

por genotipo ( $\delta_{ij}$ ). Representa la respuesta de un genotipo al mejorar la condición ambiental, en tanto que el segundo ofrece una medida de variabilidad, interpretada como falta de estabilidad. Un genotipo es considerado estable si su coeficiente de regresión es igual a 1 y las desviaciones de regresión son iguales a cero. El modelo responde a la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = promedio del  $i$  – *ésimo* genotipo en el  $j$  – *ésimo* ambiente.

$\mu_i$  = promedio del  $i$  – *ésimo* genotipo en todos los ambientes.

$\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta del  $i$  – *ésimo* genotipo a la variación ambiental.

$I_j$  = índice ambiental.

$\delta_{ij}$  = desvío de la regresión del  $i$  – *ésimo* genotipo en el  $j$  – *ésimo* ambiente.

$\varepsilon_{ij}$  = la desviación de la regresión de la variedad y el ambiente. El índice ambiental, en cada ambiente es calculado por el desvío del promedio de todos los genotipos en ese ambiente, en relación con el promedio general:  $I_j = Y_j - Y$ .

**d) Análisis de estabilidad por el método de Wrike 1962**

Propuso el método de la ecovalencia, el cual utiliza análisis de varianza de los experimentos, basándose en las interacciones entre los genotipos y los ambientes. Las que se distribuyen entre los genotipos. Los que tengan baja participación en el valor de las interacciones genotipo por ambiente, se consideran estables en el carácter y por definición tienen una ecovalencia pequeña. Situación contraria se presenta con los genotipos con gran participación en genotipo por ambiente. El modelo es como sigue a continuación:

$$W_i = \sum_{j=1}^a (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})^2$$

**e) Análisis de estabilidad de Sukla 1972**

El método de Sukla se basa en la descomposición de la interacción genotipo por ambiente en genotipos; ésta es igual a la varianza ambiental dentro más la varianza ambiental entre para cada genotipo, corregida

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum \lambda_n Y_{in} + \delta_{jn} + \varepsilon_{ij}$$

Donde

$Y_{ij}$  = representa la media del  $i$  - *ésimo* cultivar en el  $j$  - *ésimo* ambientes

$\mu$  = es la media general.

$G_i$  y  $E_j$  = son los efectos principales atribuidos al genotipo (cultivar) y ambiente.

$\lambda_n$  = es el valor singular del  $n$  - *ésimo* eje del Componente Principal

$\delta_{jn}$  = representan las puntuaciones para el  $i$  - *ésimo* cultivar y el  $j$  - *ésimo* medio ambiente en el  $n$  - *ésimo* eje del componente principal.

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental agrupado.

por efectos aditivos de ambientes. El genotipo será clasificado como estable cuando ambas variables sean igual a cero. Una extensión del método involucra una varianza que incluye las desviaciones de regresión y el error residual; además se considera como covariable el efecto ambiental. Esta metodología determina la estabilidad en el sentido estático

$$S_i^2 = \frac{g}{(g-2)(a-2)} \left[ S_i^2 - \sum_{i=1}^g \frac{S_i}{g(g-1)} \right]$$

**f) Análisis de estabilidad AMMI (efectos aditivos y multiplicativos)**

El modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) combina análisis de varianza y análisis de componentes principales en un único modelo aditivo para los efectos principales de genotipos y ambientes y multiplicativo para los efectos de interacción de genotipo por ambiente. El Biplot se construyó a partir de los datos de rendimiento de varias localidades mediante el modelo lineal / bilineal AMMI. El modelo AMMI está representado por la siguiente ecuación:

El análisis combina los resultados en un simple Biplot para cada localidad para proporcionar una detección más conservadora de las interacciones del genotipo x sistema repetido a través de los años, este análisis permite identificar genotipos con adaptaciones específicas en ambientes determinados.

#### g) Análisis de estabilidad GGE Biplot

El modelo GGE biplot se usó para el análisis de estabilidad fenotípica (Yan *et al.*, 2000). El análisis se basó en el gráfico producido del biplot simétrico obtenido del programa desarrollado por Burgueño *et al.* (2001). El modelo básico GGE biplot es:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es el rendimiento promedio del genotipo  $ii$  en el ambiente  $jj$

$\bar{Y}_j$  = es el rendimiento promedio de todos los genotipos en el ambiente  $j$

$i1$  y  $i2$  = son los valores singulares para CP1 y CP2

$\xi_{i1}$  y  $\xi_{i2}$  = son los valores del CP1 y CP2 para el genotipo  $i$

$\eta_{j1}$  y  $\eta_{j2}$  = son los valores del CP1 y CP2 para el ambiente  $j$

$\varepsilon_{ij}$  = es el residual del modelo asociado con el genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ .

Este análisis permite identificar genotipos que muestren una alta estabilidad y rendimiento altos en todas las localidades estudiadas denominándose “genotipo ideal”, el mismo permite identificar el grado del comportamiento del material genético respecto a las localidades.

Para procesar los datos y analizar los estadísticos su utilizó los siguientes softwares estadístico: R-Project V3.3.2 (2016), SAS V9.4 (2014), SPSS V24 (2016) y SPLUS 15 (2000).

### Resultados y discusión

La Tabla 5 muestra el resumen de estadística descriptiva elaborado en base a variables cuantitativas. En ella se verifica las características agromorfológicas interesantes asociadas a la población de estudio. Se puede distinguir atributos como la precocidad, días a la floración y días a la madurez con rangos significativos lo que permite avizorar genotipos muy promisorios en cuanto a la identificación de cultivares para desafíos del Proyecto.

Las variables relacionadas a componentes de rendimiento mostraron comportamientos relativamente dispersos como son: número de macollos con un promedio de 3.12 y una desviación de  $\pm 0.64$ , la longitud de espiga alcanzó una un promedio de 7.72 cm con una mínima de 5 cm y una máxima de 11 cm. El estimado para promedio de peso de mil granos fue de 37.2 g con una dispersión de  $\pm 6.51$ , con respecto a la variable de rendimiento en grano el estimado promedio fue de 1905,9 kg ha<sup>-1</sup> con una máxima de 4542,5 kg ha<sup>-1</sup> en ambientes favorables y una mínima de 486,0 kg ha<sup>-1</sup>, esta variable es la que exhibe la mayor variación de, la misma pudiendo atribuirse a la naturaleza de las condiciones experimentales. La mayoría de los valores de coeficiente de sesgo y curtosis no excedieron  $\pm 1$ , indicando que las distribuciones de las expresiones fenotípicas de las líneas estuvieron dentro de los parámetros de normalidad, excepto para la variable de rendimiento y días a emergencia.

**Tabla 5.** Estadística descriptiva de variables cuantitativas (DE: días a emergencia, NM: número de macollos, DF: días a floración, AP: altura de planta, AF: área foliar, NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espigas, NEE: número de espiguillas por espiga, NGE: número de granos por espiga, DM: días a madurez, PMG: peso de mil granos, PH: peso hectolítrico, RDTO: rendimiento) de 10 líneas élites de trigos biofortificados, evaluadas en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis
DE <sup>£</sup>	10,00	5,00	15,00	10,17	3,37	11,37	-0,05	-1,68
NM <sup>¥</sup>	3,00	2,00	5,00	3,12	0,64	0,41	0,16	0,15
DF <sup>£</sup>	40,00	55,00	95,00	74,34	11,96	142,98	0,76	-0,75
AP <sup>€</sup>	52,00	42,00	94,00	65,15	12,24	149,84	0,40	-0,46
NEM <sup>¥</sup>	206,00	58,00	264,00	147,98	45,04	2028,53	0,12	-0,21
LE <sup>€</sup>	6,00	5,00	11,00	7,72	1,20	1,45	0,26	-0,36
NEE <sup>¥</sup>	12,00	10,00	22,00	14,54	2,41	5,79	0,88	0,62
NGE <sup>¥</sup>	47,00	17,00	64,00	39,83	11,25	126,60	0,04	-0,54
DM <sup>£</sup>	27,00	106,00	133,00	119,17	7,70	59,28	0,30	-0,75
PMG <sup>K</sup>	32,70	21,30	54,00	37,02	6,51	42,34	0,09	-0,53
PH <sup>£</sup>	16,15	67,00	83,15	75,36	3,50	12,23	0,05	-0,73
RDTO <sup>£</sup>	4056,50	486,00	4542,50	1905,91	706,27	498814,35	1,16	1,62

£: días, ¥: unidades, €: cm, K: cm<sup>2</sup>, P: peso de mil granos, £: kg hl<sup>-1</sup> y £: kg ha<sup>-1</sup>

El análisis de varianza (Tabla 6) mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.05$ ) para la fuente de variación de bloques en cuatro localidades excepto en las localidades de Vallegrande y Chaguaya. Con

respecto a la fuente de variación genotipo, para cinco localidades fueron significativos ( $P < 0.05$ ) y para la localidad Yamparaez no fueron significativos.

**Tabla 6.** Análisis de varianza individual de rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) de diez líneas élites de trigos biofortificados, evaluados en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

FV	GL	Cuadrados Medios					
		Playa Ancha	Chaguaya	Yesera Norte	Cruce Incallajta	Vallegrande	Yamparaez
BLOQ	2	263976.4*	624.4ns	544215.4**	3696733**	9157.0ns	428703.4*
GENOTIPO	9	406297.9**	41026.1*	641450.8**	870395.9**	71028.0**	132567.7ns
ERROR	18	55142.9	13664.6	1167.1	171055.33	14756.7	95499.4
CV%		17.0	8.6	14.67	13.9	5.97	17.7
R <sup>2</sup>		0.81	0.6	0.82	0.83	0.71	0.54

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, CV: coeficiente de variación y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

El análisis de varianza combinado mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre genotipos, localidades y sus interacciones para el rendimiento de grano (Tabla 7). Estas diferencias explican el grado diferencial en el comportamiento

de las variedades en las localidades. Al respecto Karimizadeh *et al.* (2012) indican que la interacción genotipo por ambiente produce rendimientos de genotipos significativamente influenciados.

**Tabla 7.** Análisis de varianza combinado de rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 10 líneas de trigos biofortificados, evaluados en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Localidad	5	52185003.92	10437000.78	12.66	0.0002
blq/loc	12	9894819.53	824568.29	11.47	<.0001
Gen	9	3.747.308.783	416.367.643	1.19	<.0001
Loc*Gen	45	15717589.58	349279.77	4.86	<.0001
Error	108	108.0	7763149.13	71881.01	
CV%		14.06			
R <sup>2</sup>		0.913074			

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrados medios, F: Valor de F, CV: coeficiente de variación y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

En base al análisis de estabilidad realizado por el método propuesto por Eberhart y Russel (1966), los coeficientes de los valores de regresión ( $b_i$ ) para diez genotipos utilizados en el estudio varió de 1,290 a 0.309 (Tabla 1). Los valores de regresión ( $b_i$ ) de la unidad se interpretan como estabilidad promedio y las variaciones de los genotipos difieren en los diversos entornos evaluados. La variabilidad entre entornos es un factor prominente y determina principalmente la utilidad de los valores de  $b_i$  Karimizadeh, Mohammadi, Sabaghnia, Hosseinpour y Shafazadeh (2012). No hubo genotipo con valores  $b_i$  iguales a la unidad, mientras que los valores del coeficiente de regresión más cercano obtuvieron el genotipo 415 ( $b_i=1.075$ ), seguida de la entrada 403, 424 y

438. Los rendimientos de estos genotipos fueron más altos que los otros genotipos e influyeron significativamente en condiciones ambientales variables y el rendimiento de estos genotipos aumentó cuando las condiciones ambientales fueron adecuadas y se redujeron el promedio cuando las condiciones no eran adecuadas. El análisis de regresión como uno de los parámetros importantes que han sido frecuentemente empleados por los mejoradores de plantas para el análisis de estabilidad, mostró que hubo amplios rangos de desviaciones en los genotipos. La desviación de la regresión para cualquiera de los genotipos no fue igual a cero ( $S^2_{di} = 0$ ) y el rango de este parámetro de estabilidad varió de -20780,479 a 209108,741 (Tabla 8).

**Tabla 8.** Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y parámetros de estabilidad de diez líneas élites de trigo biofortificado evaluados en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

Genotipo	Rendimiento Promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Métodos estadísticos univariados de estabilidad fenotípica				
		Eberhart&Russell (1966)		Shuckla (1972)		Wricke (1962)
		bi	S <sup>2</sup> di	R <sup>2</sup>	ri <sup>2</sup>	Wi
415	2181.43	1,075	209108,741	0,681	220707,381	940227,917
424	2043.77	1,290	88644,271	0,865	134119,851	593877,799
403	2039.35	1,112	7848,612	0,959	58933,057	293130,620
401	1925.64	0,918	80890,325	0,878	133621,207	591883,220
414	1886.28	0,895	-20780,479	0,992	-6865,699	29935,599
443	1877.83	0,796	-20716,598	0,989	6373,335	82891,732
438	1867.94	1,126	107961,940	0,806	123945,362	553179,8431
410	1826.69	0,309	118295,908	0,225	332621,114	1387882,851
406	1757.90	0,956	10855,138	0,920	20861,157	140843,0209
409	1652.26	0,922	111859,966	0,730	123651,101	552002,799

bi: Coeficiente de regresión; S<sup>2</sup>di: desviación de la regresión, R<sup>2</sup>=Varianza de Shuckla y Wi=ecovalencia de Wricke

El genotipo 403 obtuvo un rendimiento promedio de  $2039.35 \text{ kg ha}^{-1}$ , al tener un rendimiento de grano relativamente mayor tiene un coeficiente de regresión ( $b_i=1.12$ ) y también su desviación de la regresión es lo más pequeña posible ( $S^2_{di}=7848,612$ ), por lo tanto, en las áreas estudiadas se puede recomendar el genotipo mencionado, cuyo coeficiente de regresión es cercano a la unidad y la desviación de la regresión es menor que los otros genotipos. El genotipo que proporcionó mayor rendimiento en grano fue el genotipo 415, obtuvo valores de  $b_i=1.075$  y  $S^2_{di}=209108,741$ . Por lo tanto, es un genotipo con estabilidad media pero adaptado para ambientes favorables.

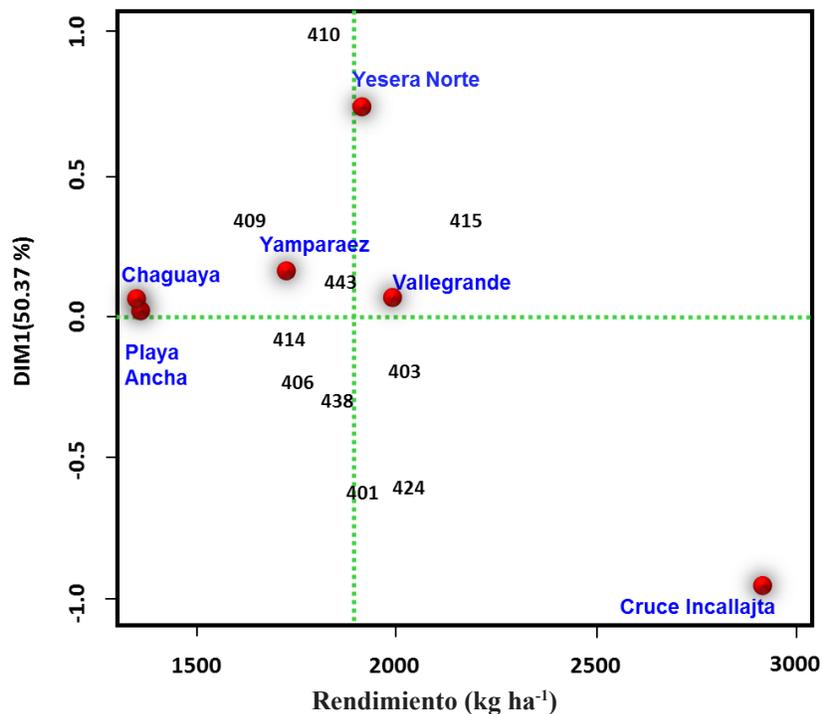
El método Wricke (1962), basado en el método de la ecovalencia, el cual utiliza el análisis de varianza de los experimentos evaluados, centrándose en las

interacciones entre los genotipos y los ambientes y los que tienen baja participación en el valor de interacción genotipo por ambiente, se consideran estables en el carácter y por definición tienen una ecovalencia pequeña. Situación contraria se presenta con los genotipos con gran participación en genotipo por ambiente con esto se puede inferir que los genotipos que tienen menor ecovalencia fueron las líneas 443, 414 y 403 que tiene mayor estabilidad y los más inestables fueron las líneas la 415, 424 y 418. Misma situación explica el método de estabilidad de Sukla (1972) que identifica genotipos estables a la 443, 414 y 403 con valores bajos de  $R^2$ .

El análisis AMMI biplot para el rendimiento de los diez cultivares élites de trigos biofortificados evaluados en seis ambientes (Figura 1). El eje

de las “x” muestra efectos principales del ranking del rango de rendimiento de los genotipos y las localidades evaluadas mientras que el eje “y”

muestra el primer eje del componente principal con una varianza de 50.37%.

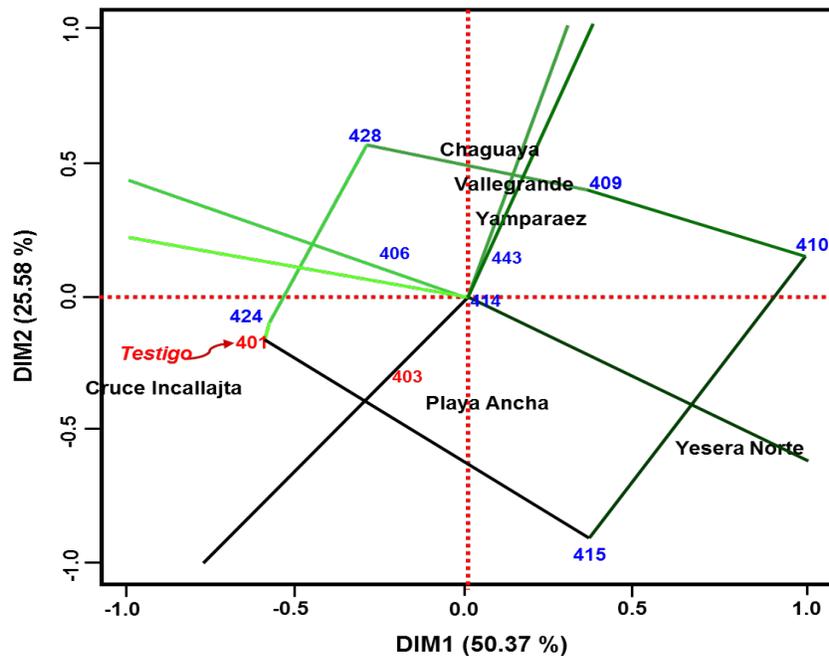


**Figura 1.** Componente Principal (CP1), análisis aditivo de efectos principales y de interacción multiplicativa (AMMI) respecto a rendimiento promedio de diez líneas élites de trigos biofortificados con respecto a seis localidades

El análisis gráfico de polígono graficado a partir de AMMI (Figura 2) permitió detectar diferencias estadísticamente significativas entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo por ambiente. Efectos altamente significativos para la interacción justifican análisis posterior para la determinar el efecto en el comportamiento de las diferentes cultivares a través de los ambientes. Además, los valores propios de los componentes fueron el primero con 50.37% y el segundo de 25.58% ambos explican más del 70% de la variabilidad.

El polígono graficado en el Biplot está en base a

los cultivares que se encuentran en los extremos, es decir son los que están más alejados del origen del biplot como son los cultivares 401, 424, 428, 409, 410 y 415, siendo estas muy sensibles ante cambios ambientales o también se puede indicar que estos cultivares tienen un alto interacción genotipo por ambiente. Para Yan y Kang (2003) indica que un cultivar que se encuentra en el origen se clasificaría igual en todos los ambientes; por lo tanto, no respondería al cambio ambiental, en este caso 443, 414, 406 y 403 está cerca del origen representa el cultivar que tiene mayor estabilidad para la variable rendimiento.



**Figura 2.** Componente Principal (DIM), análisis aditivo de efectos principales y de interacción multiplicativa (AMMI) resumiendo el comportamiento de diez elites de trigo biofortificado evaluado en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

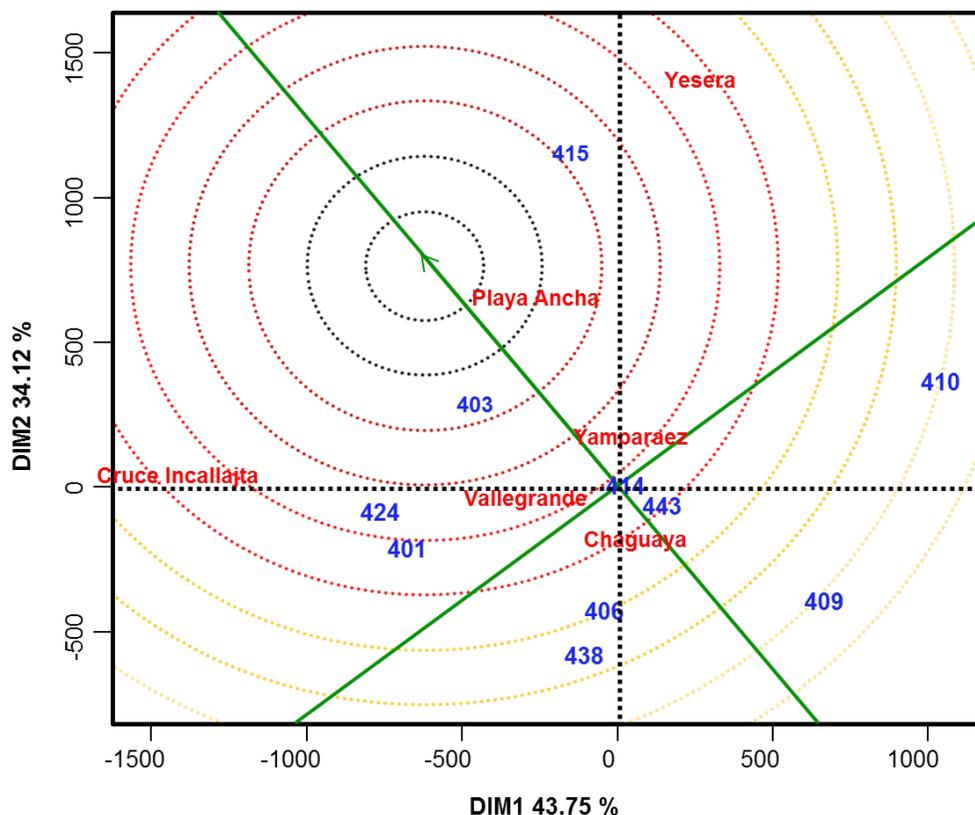
El modelo GGE Biplot proporciona la mejor manera de visualizar los patrones de interacción entre genotipos y ambientes y estudiar la posible existencia de diferentes grupos de ambiente en una región Yan y Kang (2003) que se cultiva un conjunto de genotipos.

El GGE Biplot se construyó trazando los dos primeros componentes principales, DIM1 y DIM2 (conocidos como efectos primarios y secundarios), derivados de someter los datos de rendimiento mediados ambiente a la descomposición de valores singulares. El primer componente explicó el 77,87% de los efectos principales del genotipo y la interacción genotipo por ambiente. La primera y la segunda explicaron 43.75% y 34.12% respectivamente de los efectos principales del genotipo y la interacción genotipo por el ambiente (Figura 3). El resultado mostró que los genotipos 415, 410, 409, 401, 438 y 424 están ubicados en la parte superior del polígono. Estos genotipos tienen

mayor rendimiento y menor rendimiento de grano en algunos ambientes, debido a la máxima distancia del centro de biplot. En la Figura 3, el genotipo hipotético ideal se muestra como un pequeño círculo en el eje del rendimiento promedio del genotipo. Un genotipo ideal debería tener el rendimiento medio más alto y ser absolutamente estable (es decir, realizar el mejor rendimiento en todos los ambientes). Tal genotipo ideal se define por tener la mayor longitud del vector de los genotipos de alto rendimiento e interacción genotipo por ambiente cero, como se representa mediante una flecha que apunta a él (Figura 3). Para usar el genotipo ideal como centro de medición, se dibujaron círculos concéntricos en el biplot para determinar gráficamente la distancia entre los genotipos de prueba y la ideal (Yan y Tinker, 2005). El genotipo 403 se encuentra el más próximo al genotipo ideal con rendimiento medio y estable seguida de la 415, sin embargo, la 415 tiene rendimientos superiores a 403.

Yan y Kang (2003) señalan que la estabilidad es importante, aunque es sólo un modificador del rendimiento medio. Una medida de la estabilidad

determinada por la interacción genotipo ambiente, es útil sólo cuando se considera conjuntamente con el rendimiento de los cultivares.



**Figura 3.** Análisis GGE Biplot del genotipo ideal con respecto a rendimiento y estabilidad de diez líneas élites de trigo biofortificado, evaluados en seis localidades durante la campaña agrícola 2016-2017.

Las líneas de trigo biofortificados fueron evaluados en sus características de calidad (Tabla 9) para efectos de comparar las aptitudes de cada una de ellas. El índice de dureza de las líneas 414 (76.13%), 415 (81.44%), 403 (79.39%) y 46 (77.36%) tienen altos índices de dureza que superan a la variedad testigo (76.13%) desde 1.23% hasta 7.69%. La dureza del grano, es el método que define que tan duro o blando es el endospermo de la variedad de grano analizado. Por lo que se manifiesta la resistencia que opone al ser fracturado o a la energía requerida para reducir significativamente en la molienda el endospermo a harina o semolina (Vázquez, 2013).

Se identificaron genotipos que tienen alto contenido de proteína como ser la 409, 414, 438, 410 y 403 con valores de 15.15%, 14.25%, 14.13%, 13.75% y 13.41% respectivamente, sin embargo la variedad testigo tiene un valor de 12.43%, donde la superioridad de los materiales se traducen desde 7.88% hasta 21.88% con respecto a la variedad testigo, esta variable ayuda a estimar indirectamente el contenido de gluten en el grano, pero no su calidad y valores inferiores al 11% de proteína no son aconsejados para la panificación (Vázquez, 2013).

Con respecto al contenido de valores de gluten se tiene los genotipos con mayor porcentaje como ser

la 409 (35.24%), 438 (33.66%), 414 (32.22%) y 410 (30.21%) estas son muy superiores a la variedad testigo que solamente alcanza a 26.5% de gluten. Aunque este valor se toma solamente un estimado, ya que su estimación se realizó con el

NIR, al respecto Cuniberti *et.al* (2012) indica que Los equipos NIR son determinadores confiables de cantidad de proteína y humedad, no así de la cantidad del gluten ni la calidad de las proteínas que se debe medir por los métodos convencionales de calidad industrial

**Tabla 9.** Resumen de promedios de variables de componentes de rendimiento, variables de calidad y resistencia a enfermedades de 10 líneas elites de trigo biofortificado, evaluados durante la campaña agrícola de verano 2016-2017.

N°	Línea	Productividad			Calidad							Enfermedades
		RDTO (kg ha <sup>-1</sup> )	LE (cm)	PMG (g)	PH (kg hl <sup>-1</sup> )	P (%)	G (%)	D (%)	W (Índice)	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	RY (5=Resistente)
1	401	1925.64	7.31	36.71	73.91	12.43	26.5	76.13	144.34	32.02	17.3	3
2	403	2039.35	7.84	37	75.04	13.41	29.17	79.39	194.21	37.01	27.5	4
3	406	1757.9	7.51	35.5	74.14	13.11	30.19	77.36	209.37	-	-	5
4	409	1652.26	7.58	34.56	75.31	15.15	35.24	73.56	243.96	52.38	34.5	5
5	410	1826.69	7.86	40.09	75.87	13.75	30.21	77.21	198.03	45.44	60.8	5
6	414	1886.28	8.01	37.35	76.04	14.25	32.22	81.99	210.13	57.39	30.8	4
7	415	2181.43	7.21	33.02	75.74	11.3	23.14	81.44	99.61	-	-	5
8	424	2043.77	8.03	36.72	76.15	13.01	28.64	74.67	168.02	-	-	5
9	438	1867.94	7.71	39.57	75.6	14.13	33.66	73.95	234.96	51.70	29.8	4
10	443	1877.83	8.2	39.67	75.81	12.75	27.6	74.64	154.61	31.80	20.4	5

RDTO: rendimiento de grano, NEM: número de espigas por metro cuadrado; LE: longitud de espiga; PMG: peso de mil granos; PH: peso hectolítrico P: proteína; D: dureza; G: gluten, W: índice panadera Zn= zinc; Fe: hierro. Los datos de productividad son promedios estimados de las seis localidades. Los datos de calidad son promedios de dos localidades (Playa Ancha y Cruce Incallajta). La lectura de la roya fue registrada en la localidad de Vallegrande por ser una zona altamente propicia para la aparición del patógeno.

En base a los genotipos presentaron mayor productividad fueron la línea 415, 424 y 403 aunque de estos genotipos la línea 403 (Kachu #1) tiene valores altos de estabilidad, también tiene un performance favorable para calidad en términos de proteína, gluten y dureza. Aunque las variedades de excelente calidad tienen productividad baja lo que permite confirmar la alta correlación negativa entre caracteres de productividad entre rasgos de calidad. Además, la línea muestra mejor performance respecto a la roya del tallo que alcanza una calificación de 5(1=susceptible y 5=resistente).

El contenido de zinc en las líneas biofortificados varían desde 20.4 a 60.8 mg kg<sup>-1</sup>, siendo el valor del testigo de 17.3 mg kg<sup>-1</sup>. Los niveles de zinc en el grano de trigo varían entre las diferentes especies, siendo *Triticum dicoccoides* es el que mayor contenido de zinc concentra, seguido del trigo duro (*Triticum durum* L.), mientras que las variedades de trigo harinero más antiguas presentan mayores contenidos de zinc en grano. Como media, los contenidos de zinc en el grano de trigo harinero están comprendidos entre los 20 y los 35 mg kg<sup>-1</sup> (Rengel *et al.*, 1999; Cakmak *et al.*, 2004). La concentración de zinc en el grano se encuentra

directamente relacionada con el contenido en el suelo y su disponibilidad, disminuyendo cuando la cantidad de zinc total en el suelo y su disponibilidad es baja (Cakmak *et al.*, 2004).

### Conclusiones

Se identificaron dos tipos de ambientes con alta capacidad de discriminación genotipo, conformadas por ambientes que representan ambientes de baja precipitación promedio acumulada durante el ciclo del cultivo y demás ambientes donde las precipitaciones son superiores.

Se identificó líneas élites de trigos biofortificados con adaptabilidad y estabilidad específicas para ambientes con características distintivas en el área tradicional de producción de trigo específicamente la línea 403 tiene un excelente comportamiento en el departamento de Cochabamba y Tarija, además se destaca por su buen performance para características de calidad.

Es importante concluir el uso de modelos univariados y multivariados permitieron determinar los parámetros de estabilidad de los genotipos y contribuyeron a seleccionar materiales sobresalientes que tengan menor interacción genético ambiental, pero de alta productividad.

Las poblaciones que fueron estudiadas la mayoría tienen altos contenidos en hierro y zinc (biofortificadas) en comparación a cultivar testigo, el mismo permite avizorar ganancias genéticas muy importantes en pos aportar con tecnología para sectores trigueros donde la producción está destinada para el autoconsumo familiar.

### Referencias

- Bavandpori, F., Ahmadi, J., and Mohssen S. H. (2015). Yield Stability Analysis of Bread Wheat Lines using AMMI Model. *Agricultural Communications, Eram Pars Scientific Publication Ltd.*, 3(1), 8-15.
- Bornhofen, E., Benin, G., Storck, L., Guilherme, L.W., Duarte, T., Giovane, M.S., and Volmir, S.M. (2017). Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Basic Area-Article*, 76(1), 1-10.
- Burgueño J., J. Crossa, and Vargas M. (2001). SAS Programs for graphing GE and GGE biplot. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit CIMMYT, México. pp: 29-36.
- Cakmak, I. (2009b). *Biofortification of Cereal Grains with Zinc by Applying Zinc Fertilizers*. Biokemisk Forening – Danish Society for Biochemistry and Molecular Biology.
- Cuniberti M y Mir, L. (2012). Relación gluten/proteína. INAT Marco Juárez. Calidad Industrial de Cereales y Oleaginosas.
- Eberhart S.A., Russell W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.
- Gauch H. G. and Zobel R.W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In: Karg M. S. and Gauch H.G. Genotype by environment interactions. CRC press. Bacarator, Florida.
- INE. (2015). *Reporte anual de estadísticas agrícolas de Bolivia*. La Paz, Bolivia, 24 p.
- Farshadfar, E., and Sadeghi M. (2014). GGE Biplot Analysis of Genotype × Environment Interaction in Wheat-Agropyron Disomic Addition Lines. *Agricultural Communications, Eram Pars Scientific Publication Ltd.*, 2(3), 1-7.
- Ferede, M., Worede, F. (2016). Grain Yield Stability and Phenotypic Correlation Analysis of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes in North Western Ethiopia. *Food Science and Quality Management* 48, 51-59.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Hosseinpour, T. and Shafazadeh, M. K. (2012). Analysis of genotype and genotype

- × environment interaction in durum wheat in warm rainfed areas of Iran. *Crop Breeding Journal*, 2(2), 71-78.
- Lantican, M. A., Braun, H. J., Paine, T.S., Singh, R.P., Sonder, K., Baum M., Ginkel, M. van and Erenstein, O. (2016). *Impacts of international wheat improvement research 1994-2014* (pp. 59): CIMMYT.
- Mohamed, N., Said, A., and Amein, K. (2013). Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype × environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Agricultural Research* 8(42), 5197-5203.
- Motamedi, M., Naserierad, H., Naseri R., and Soleymaniard, A. (2012). Assessment of genotype × environment interaction for grain yield in bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(18), 1366-1370.
- Mut, Z., Aydin, N., Bayramoglu, H. O. and Ozcan, H. (2010). Stability of some quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. *Journal of Environmental Biology*, 31, 489-495.
- Rangel, E.E., Villaseñor, H.E., Peña, R.J., Huerta, J., Limón, A. (2004). Calidad industrial de trigos harineros para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Revista fitotecnia mexicana*, Enero-Marzo, 27: 41-47.
- Shukla G.K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29(2):237-245.
- Tarakanovas, P., Ruzgas, V. (2006). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agronomy Research*, 4(1), 91-98.
- Ülker<sup>1</sup>, M., Sönmez, F., Çiftçi, V., Yılmaz, N., and Apak, R. (2006). Adaptation and stability analysis in the selected lines of tir wheat. *Pak. J. Bot.*, 38(4), 1177-1183.
- Vásquez, V. (2013). Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), México.
- Welch, R.M., Graham, R.D. (2005). Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18: 299–307.
- Wricke G. (1962). On a method of understanding the biological diversity in field research. *Z. Pflanzenzuchtg* 47:92-96.
- Yan, W., and Kang, M. S. (2003). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. New York, United Estate: CRC press. Boca Raton, FL.
- Yan, W., Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 623–645.
- Zahoor, S. A., Altaf, S. A., Sughra, G. M. and Tanveer, T. H. (2014). Evaluation and selection of bread wheat genotypes grown under different environment. *International Biotechnology Color Journal* 4(1).