Avances en la selección y difusión de trigos biofortificados en la zona andina de Bolivia

Cresencio Calle, Yamil Castro, Pablo España, Henry Ayaviri y Leonel Rodríguez
Fundación PROINPA
c.calle@proinpa.org

Resumen

Durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014 -2015, Se han evaluado en 5 localidades (Tarabuco, Yamparáez, Redención Pampa, Lequezana y Anzaldo) 48 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruzas bolivianas y 50 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruzas mexicanas. Los ensayos fueron establecidos bajo un diseño de Bloques al Azar con cuatro repeticiones. En cada uno de los ensayos las líneas fueron comparadas con el testigo Yampara y la media general del ensayo. A base de los resultados agronómicos se han seleccionado preliminarmente 7 líneas sobresalientes por su comportamiento y precocidad. Asimismo en 18 localidades de Chuquisaca, Cochabamba y Potosí se validaron las variedades Tarabuco y Limabamba comparados con los testigos locales. La variedad Tarabuco tuvo un comportamiento sobresaliente en las 18 localidades de validación comparada con Limabamba y el testigo. El rendimiento medio obtenido por Tarabuco fue 11% más que el testigo. La precocidad de la variedad Tarabuco (63 días al espigamiento) fue el principal atributo de adaptación en las diferentes localidades. Se observó que a mayor altitud el ciclo de las variedades aumenta mientras que el peso de mil granos tiende a disminuir.

Palabras clave: Selección, Biofortificación, Trigo, Rendimiento, Validación

Abstract

For two crop years 2013-2014 and 2014 -2015, they have been evaluated in 5 locations (Tarabuco, Yamparáez, Redención Pampa, Lequezana and Anzaldo) 48 biofortified wheat lines from cross Bolivian and 50 biofortified wheat lines from Mexican crosses. Trials were established under a randomized block design with four replications. Each of the lines they were compared with the control Yampara. Based on the agronomic results have been preliminarily selected seven outstanding lines for their behavior and precocity. Also in 18 localities of Chuquisaca, Cochabamba and Potosí the varieties Tarabuco and Limabamba were validated. The Tarabuco variety had a better performance in 18 locations compared with Limabamba and the control. The average yield for Tarabuco was 11% higher than the control. The earliness of the variety Tarabuco (63 days to heading) was the main attribute of adaptation in different localities. In other way, in higher altitude the varieties cycle increases and the kernel weight tends to decrease.

Introducción

La anemia, en la mayoría de los países de la región latinoamericana, es causada por falta de hierro en la alimentación. Afecta a un 34% de la población mundial, de la cual un 80% vive en los países en vías de desarrollo. Los niños, mujeres embarazadas y ancianos son los que tienen una mayor probabilidad de sufrir por falta de hierro (Unicef, 2004). Por otro lado la falta de zinc afecta negativamente el desarrollo intelectual de los niños, ya que es un componente esencial del cerebro y de su funcionamiento, por otro lado favorece al sistema inmunológico (Howarth *et al.,* 2011). Ante esta situación, se plantea el objetivo de generar variedades de trigo biofortificadas, más la concentración de Fe y Zn en los granos, en relación a los trigos que actualmente se cultivan (Calle, 2012). La biofortificación ha sido identificada como una de las cinco soluciones a los problemas mundiales del hambre y desnutrición. Para ello en los últimos años se ha priorizado investigaciones en varios cultivos, orientadas a la obtención de variedades biofortificadas (Howarth, 2010).

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% (Velu *et al.,* 2011). Las variedades de trigo biofortificado; Tarabuco y Limabamba, fueron validadas en la gestión agrícola 2013 – 2014 de manera masiva en diferentes localidades como parte de las acciones del Programa Nacional de Trigo del INIAF, en el marco de la Alianza Estratégica entre la Fundación PROINPA y el INIAF. El objetivo del presente estudio es evaluar germoplasma para el desarrollo de variedades de trigo con mayores contenidos de Hierro y Zinc para contribuir a una mejora nutrición y salud y validar variedades biofortificadas en diferentes ambientes.

Materiales y métodos

Diseño experimental*:* Los ensayos fueron implementados en las diferentes localidades siguiendo un diseño de Bloques al Azar con cuatro repeticiones. El nivel de fertilización fue de 41-46-00 unidades de N-P_2O_5-K_2O*ha^{-1}. (Equivale a 2 qq de FDA más 1 qq de Urea*ha^{-1}) todo a la siembra. La Densidad de siembra fue de100 kg*ha^{-1}. El control de malezas de hoja ancha usando: Metsulfuron metil (Ally, Kombat, 6 gramos*ha^{-1}), aplicado 15 a 20 días después de la siembra.

Para el proceso de validación, en el marco de los actores del Comité Departamental del Trigo, se establecieron acuerdos colaborativos de trabajo para difundir las nuevas variedades generadas. Las variedades validadas, constituyen las nuevas variedades de trigo biofortificado: Tarabuco y Limabamba, estas variedades están adaptadas a las regiones de trigueras de la zona andina y son de ciclo de maduración temprano (116 días y 123 días). Con respecto a su contenido de hierro TARABUCO-2012 presenta 38,7% más de hierro en el grano que las variedades comerciales (46,9 mg de Fe*kg^{-1} de harina integral) en tanto que LIMABAMBA-2012 presenta 36,5% más de hierro en el grano que las variedades comerciales (46,1 mg de Fe*kg^{-1} de harina integral). Las validaciones fueron sembradas en 18 localidades de Chuquisaca, Cochabamba y Potosí junto a un testigo local. Las prácticas de manejo agronómico fueron similares para las variedades.

Resultados y discusión

Ensayo de Líneas de Trigo Biofortificado provenientes del CIMMYT, México 1. (TBMX1).

La tabla 2, muestra el comportamiento global de las variables evaluadas, donde se observa que la mayoría de las variables muestran coeficientes de variación aceptables si se toma en cuenta las variaciones ambientales existentes entre las diferentes localidades. Respecto a la variable rendimiento se observa que tiene 32,3 % de coeficiente de variación el cual es respuesta a las condiciones de cada localidad.

Tabla 1. Resumen de variables del ensayo de evaluación de 25 líneas de Trigo Biofortificado **TBMX1**, en 4 localidades (Yamparáez, Tarabuco Lequezana y Redención Pampa). 2014-2015

Estadísticos	AL	DE	DFr	DM	LE	PG	PH	RE
Recuento	400	400	400	400	400	400	400	400
Promedio	77.154	67.485	75.849	138.7	8.31775	44.7754	78.5907	2185.24
Desviación Estándar	10.772	9.53872	11.1302	22.3056	0.791471	4.75223	1.68241	707.204
Coeficiente de Variación	13.96%	14.13%	14.67%	16.08%	9.515%	10.61%	2.14%	32.36%
Mínimo	49.8	47.0	55.0	96.0	6.4	32.0	67.9	704.5
Máximo	106.0	82.0	93.0	165.0	12.0	58.4	82.9	4632.0
Rango	56.2	35.0	38.0	69.0	5.6	26.4	15.0	3927.5
Sesgo Estandarizado	-1.0686	-8.4445	-8.06846	-7.2396	4.30483	0.197841	-4.88268	6.11632
Curtosis Estandarizada	-3.6175	-2.17346	-2.92811	-3.18194	4.25482	-1.63697	14.1083	1.69229

RE=Rendimiento, PG=Peso de Mil granos, LE= Longitud de Espiga, DM= Días a la Madurez, DE= Días al Espigamiento, DF= Días a la Floración, ALT= Altura de Planta

La evaluación del rendimiento, muestra que esta variable tuvo un coeficiente de variación de 32%, debido básicamente a la variabilidad existente entre las localidades. La media del rendimiento de 500 casos fue de 2118 kg*ha^{-1} con una desviación estándar de +/- 778 kg*ha^{-1} (Tabla 2). La línea que mostró mayor estabilidad en el rendimiento fue la 7 con un coeficiente de variación de 22,4 %, entretanto que la que presentó mayor variabilidad fue la línea 17 con un CV de 40 %. De acuerdo al análisis de varianza, las diferencias entre líneas no son estadísticamente significativas al 5% de probabilidad. En cambio entre localidades estas diferencias son significativas desde el punto estadístico (Figura 1). La localidad de sobresale por los rendimientos alcanzados es Tarabuco.

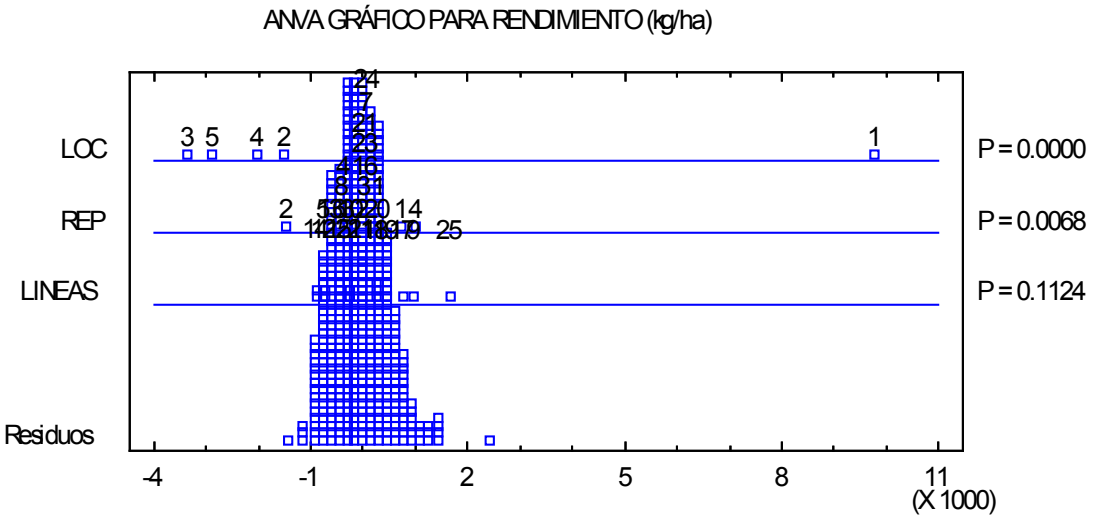

Figura 1. Análisis de Varianza Gráfico para el rendimiento de 25 líneas de trigo biofortificado **TBMX1** en 5 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana, Redención y Anzaldo), Gestión 2014 – 2015.

Las diferencias numéricas en rendimiento muestran a la línea 25 como las más destacada con 2497 kg*ha^{-1} por encima de los 2115 kg*ha^{-1} de testigo Yampara, siendo 18 % más en relación al testigo.

» ***Ensayo de Líneas de Trigo Biofortificado provenientes del CIMMYT, México 2 (TBMX2).***

El ensayo de trigos biofortificados procedentes de México, fueron como en los otros casos evaluados de manera general, es decir todos los datos disponibles de las diferentes localidades fueron sometidos a un análisis de sus valores estadísticos tanto de tendencia central como los de desviación.

Tabla 2. Resumen de variables del ensayo de evaluación de 25 líneas de Trigo Biofortificado **TBMX2**, en 4 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana y Redención Pampa), 2014-2015.

Estadísticos	AP	DE	DF	DM	LE	PG	PH	RE
Recuento	400	400	400	400	400	400	400	400
Promedio	78.6305	66.7275	75.0575	138.375	8.24432	43.8253	77.8992	2158.31
Desviación Estándar	9.20937	9.52681	11.3986	22.5596	0.811072	5.23931	1.57441	656.116
Coeficiente de Variación	11.712%	14.277%	15.186%	16.303%	9.8379%	11.955%	2.02109%	30.3994%
Mínimo	56.0	43.0	55.0	96.0	5.5	29.2	74.0	747.0
Máximo	98.0	81.0	93.0	163.0	10.7	55.8	81.0	4574.8
Rango	42.0	38.0	38.0	67.0	5.2	26.6	7.0	3827.8
Sesgo Estandarizado	-2.18019	-8.14637	-7.59652	-7.47818	1.59146	0.012142	0.282975	4.42081
Curtosis Estandarizada	-3.10868	-2.22371	-3.26782	-3.17838	0.21597	-2.39029	-2.85309	-1.0965

RE=Rendimiento, PG=Peso de Mil granos, LE= Longitud de Espiga, DM= Días a la Madurez, DE= Días al Espigamiento, DF= Días a la Floración, ALT= Altura de Planta

El análisis global del rendimiento, muestra que la media de los diferentes ensayos es de 2208 kg*ha^{-1}, teniendo una desviación estándar de +/- 641 kg*ha^{-1}. El rendimiento más alto encontrado fue de 4574.8 kg*ha^{-1} mientras que el más bajo fue de 747 kg*ha^{-1}. El análisis de varianza para el rendimiento muestra que existen diferencias altamente significativas entre las líneas evaluadas, asimismo refleja las mismas diferencias significativas entre las cinco localidades de evaluación (Figura 2). La localidad que destaca por sus altos rendimientos es la de Tarabuco contrariamente a la de Redención que presentó bajos rendimientos.

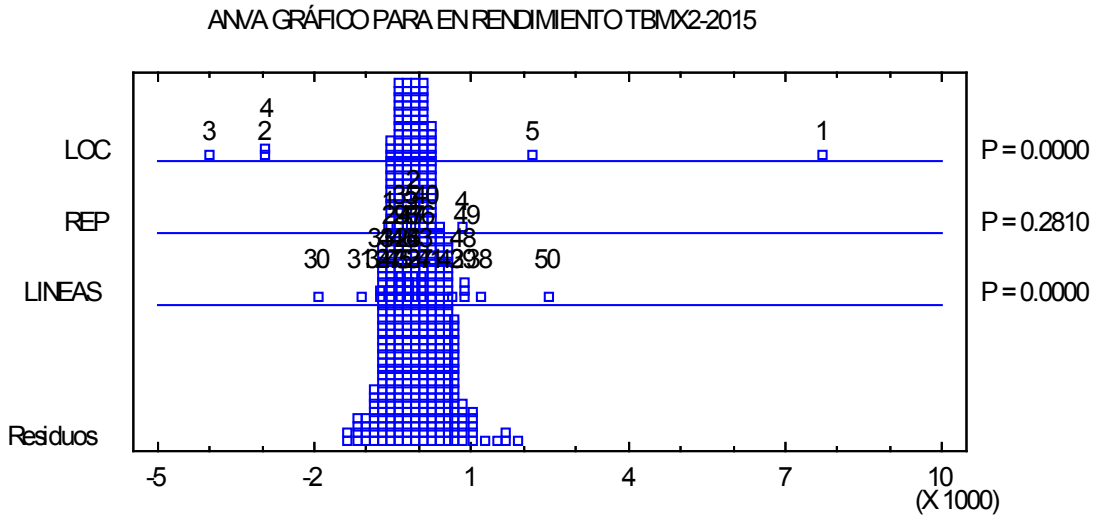

Figura 2. Análisis de Varianza Gráfico para el rendimiento de 25 líneas de trigo biofortificado **TBMX2** en 5 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana, Redención y Anzaldo), Gestión 2014 – 2015

De acuerdo a las pruebas de discriminación de medias, las líneas que sobresalen por sus altos rendimientos son: la 50 y 38 con 2769 y 2476 kg*ha^{-1} respectivamente. El rendimiento de estas líneas están por encima de la media general de los ensayos (2208 kg*ha^{-1}) y del testigo Yampara (2126 kg*ha^{-1}). Al ser la media de rendimiento de las líneas en los ensayos superior al testigo, se concluye que existen líneas promisorias para su selección como futuras variedades.

» ***Ensayo de Líneas de Trigo Biofortificado provenientes de cruzas Bolivianas (TBBOL1).***

La tabla 5 muestra las diferentes variables evaluadas en las diferentes localidades, en el mismo se muestran las medidas de tendencia central como las de dispersión. La variables que menor variación tuvo es el peso hectolítrico mientras que como era de esperarse el rendimiento fue el de mayor variabilidad.

Tabla 3. Resumen de variables del ensayo de evaluación de 16 líneas de Trigo Biofortificado **TBBOL1**, en 4 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana y Redención). 2014-2015

Estadísticos	AL	DE	DF	DM	LE	PG	PH	RE
Recuento	255	255	255	255	255	255	255	255
Promedio	81.1897	71.8902	80.6549	143.824	8.34992	39.5912	73.7529	1667.56
Desviación Estándar	19.7765	11.6519	13.2049	25.0763	1.00059	4.9471	4.04852	906.56
Coeficiente de Variación	24.358%	16.21%	16.372%	17.436%	11.983%	12.495%	5.4893%	54.3646%
Mínimo	8.37	46.0	56.0	95.0	5.23	27.2	58.1	96.0
Máximo	132.3	91.0	99.0	187.0	11.2	55.88	80.2	4461.25
Rango	123.93	45.0	43.0	92.0	5.97	28.68	22.1	4365.25
Sesgo Estandarizado	-0.80015	-5.2930	-5.9118	-5.4560	0.71366	2.2801	-10.642	4.8685
Curtosis Estandarizada	-0.4622	-2.4100	-2.4767	-2.5552	1.6355	0.76227	12.5136	-0.061232

RE=Rendimiento, PG=Peso de Mil granos, LE= Longitud de Espiga, DM= Días a la Madurez, DE= Días al Espigamiento, DF= Días a la Floración, ALT= Altura de Planta

El rendimiento es la expresión de los diferentes componentes y las condiciones que prevalecieron en la formación de cada uno de los mismos. Las líneas evaluadas mostraron un comportamiento en función de las condiciones de cada localidad. En promedio el rendimiento fue de 1801.8 kg*ha^{-1} con una desviación estándar de +/- 887.5 kg*ha^{-1}. El análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas ente las diferentes líneas evaluadas. Estas diferencias también se hacen notorias entre las localidades (Figura 3).

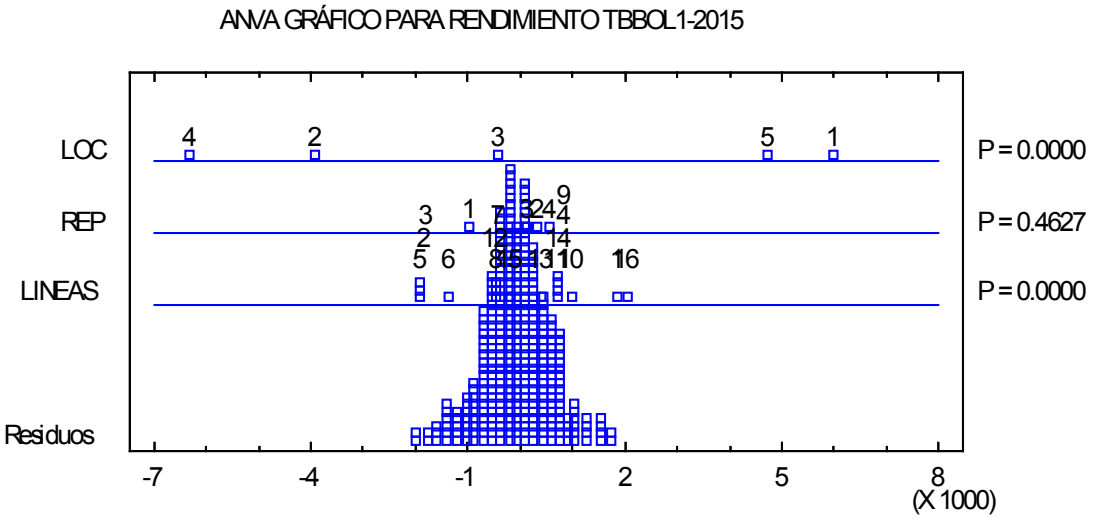

Figura 3. ANVA gráfico para rendimiento de 16 líneas de trigo biofortificado **TBBOL1** en 5 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana, Redención y Anzaldo), Gestión agrícola 2014 – 2015.

De acuerdo a las pruebas de discriminación de medias solo la línea 16 sobresale sobre el resto incluida la variedad Yampara como testigo de comparación, asimismo la línea 1 tienen ligera superioridad sobre el testigo.

» ***Validaciones de trigo biofortificado en 18 localidades***

Dentro de las evaluaciones realizadas en los ensayos de validación de las variedades de trigo biofortificado Tarabuco y Limabamba, se hizo un análisis descriptivo de las variables. Las principales correlaciones de significación con el rendimiento fueron: Altura de planta, Días al espigamiento, número de granos por metro cuadrado, número de espigas por metro cuadrado y peso de mil granos (Figura 4)

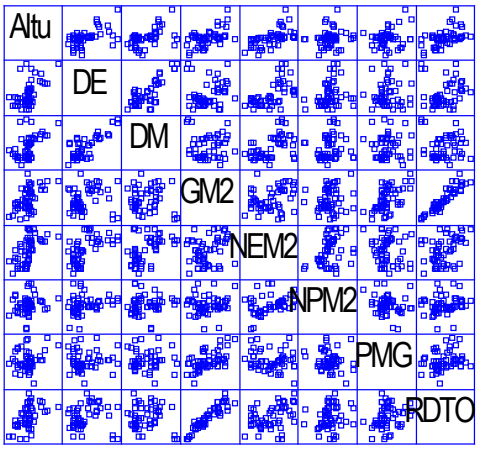

Figura 4. Gráfico de correlaciones entre variables (RE=Rendimiento, PG=Peso de Mil granos, LE= Longitud de Espiga, DM= Días a la Madurez, DE= Días al Espigamiento, DF= Días a la Floración, AL= Altura de Planta) del ensayo de Validación de Trigos Biofortificados.

Las variedades validadas mostraron un ciclo precoz a intermedio. La variedad Tarabuco con 63 días al espigamiento, fue la que se mostró más precoz comparado con Limabamba y los Testigos (Figura 5).

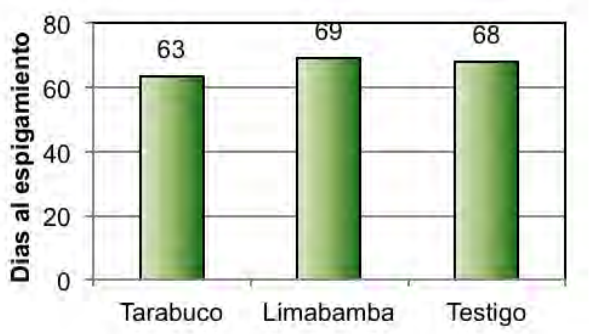

Figura 5. Días al Espigamiento de Trigo Biofortificado, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014

Las variedades de trigo Biofortificado mostraron un mayor número de espigas por metro cuadrado comparados con los obtenidos por los testigos en todas las localidades (Fig. 6)

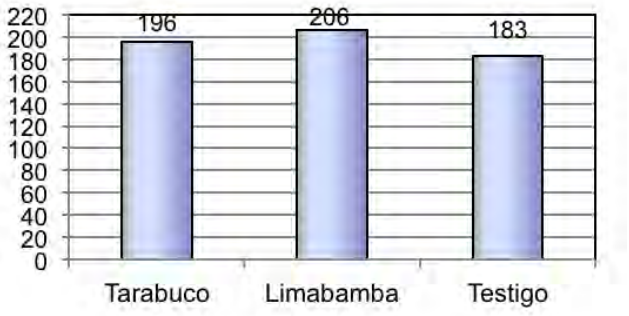

Figura 6. Espigas por m^2 de trigos biofortificados, media de 14 localidades de Chuquisaca, 2013-2014

El llenado de grano fue mayor en los testigos comparado con las nuevas variedades, esto debido probablemente a una mayor adaptación de los materiales locales a las condiciones prevalentes durante la fase floración a llenado de grano (Figura 7).

El rendimiento medio obtenido en las 18 localidades de validación, muestra que sobresale en rendimiento la variedad Tarabuco con 1528 $kg*ha^{-1}$ seguido de Limabamba y el testigo con 1381 y 1369 $kg*ha^{-1}$ respectivamente. La precocidad de la variedad Tarabuco así como el número de espigas permitieron una buena expresión del rendimiento bajo las condiciones de las diferentes localidades. (Figura 8)

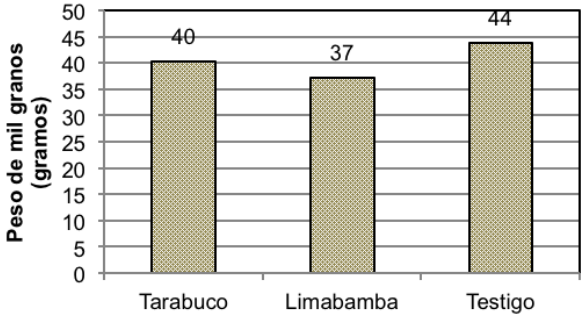

Figura 7. Peso de mil granos, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014.

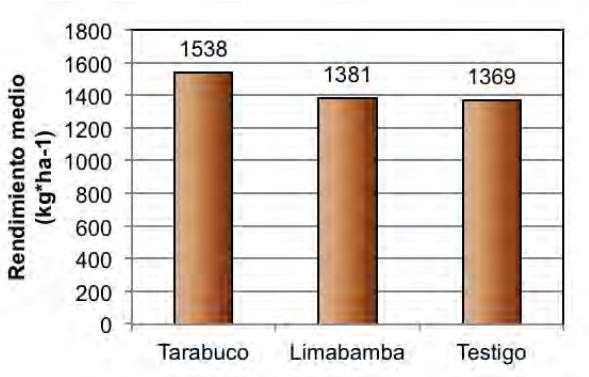

Figura 8. Rendimiento, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014

Respecto al rendimiento, las validaciones muestran una superioridad de las nuevas variedades comparados con los testigos de hasta un 12% especialmente de la variedad Tarabuco. Las variedades de trigo biofortificado validadas mostraron un amplio rango de adaptación. Lo anterior fue notorio principalmente en el ciclo de las variedades (días a la madurez) y el llenado de grano (peso de mil semillas). La figura 9 muestra un mayor ciclo a mayor altitud, así como una tendencia a disminuir el peso de mil granos a medida que la altitud aumenta. Lo anterior se debe a que las bajas temperaturas en zonas altas aumentan el riesgo de heladas.

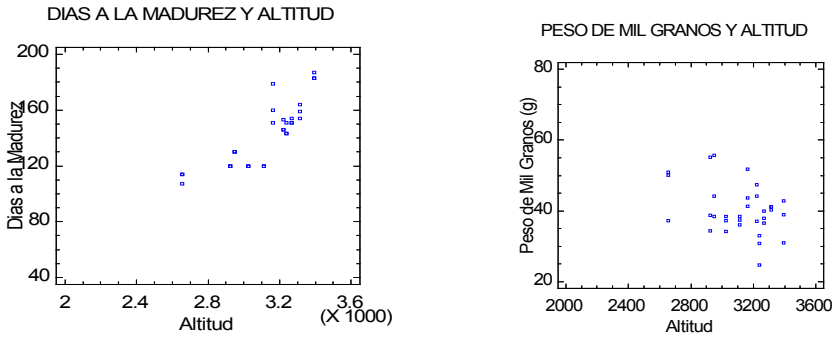

Figura 9. Efecto de la altitud sobre el ciclo del cultivo y el llenado de grano en variedades de trigo Tarabuco y Limabamba validados en 14 localidades de Chuquisaca y Potosí durante la gestión agrícola 2013-14.

Finalmente se hicieron evaluaciones participativas entre los productores en la comunidades de Tarabuco; Kajka Pampa, Lajas Silla, Pisili AMP-SUR y Pisili APROAAT, se muestra que las variedades Tarabuco y Limabamba son las que tienen mayor aceptación tanto por el aspecto general como por el número de granos por espiga comparados con los testigos que fuero Yampara, Chajlla y BR-18

Conclusiones

Se han evaluado en 5 localidades tres ensayos de líneas de trigo biofortificados durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014 -2015.

Se han evaluado en campo y gabinete 48 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruzas bolivianas.

Se han evaluado en campo y gabinete 50 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruzas mexicanas.

Se ha seleccionado preliminarmente, 7 líneas sobresalientes por su comportamiento y precocidad.

En las validaciones la variedad Tarabuco tuvo un comportamiento sobresaliente en las 18 localidades de validación comparada con Limabamba y el testigo. El rendimiento medio obtenido por Tarabuco fue 11% más que el testigo.

La precocidad de la variedad Tarabuco (63 días al espigamiento) fue el principal atributo de adaptación en las diferentes localidades.

Se observó que a mayor altitud el ciclo de las variedades aumenta mientras que el peso de mil granos tiende a disminuir.

Referencias citadas

- Calle C.C. 2012. Trigos Biofortificados, una contribución en la lucha contra la desnutrición. Fundación PROINPA, Programa de Innovación Continua PIC. Talleres Gráf. Gaviota del Sur. Sucre Bolivia. 8 p.
- Calle C.C. Castro Y., Villegas J. 2012. "Tarabuco-2012, primera variedad de Trigo Biofortificado". Boletín Talleres Gráf. Gaviota del Sur. Sucre Bolivia.
- Calle C. Castro Y., Villegas J. 2012. "Limabamba-2012, primera variedad de Trigo Biofortificado". Boletín Talleres Gráf. Gaviota del Sur. Sucre Bolivia.
- Fuentes W., Calle C., Gandarillas E., Crespo F. 2013. "Semilla de trigo Yampara: Innovación Tecnológica para la Soberanía y Seguridad Alimentaria de los Bolivianos". In Innovaciones de impacto: Lecciones de la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe / Editado por Priscila Henríquez; Hugo Li Pun -- San José, Costa Rica.: IICA, BID, 2013. p.27-38.
- Howarth Bouis. 2011. Harvest Plus no Mundo. in IV Reunión de Biofortificaçao. Brasil.
- HowartH E. Bouis and Ross M. Welch. 2010. Biofortification—A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. Published in Crop Sci. 50:S-20–S-32 (2010).
- UNICEF. 2004. The hidden hunger of the vitamin and mineral deficient child. Disponible en: http://www.unicef.org/nutrition/index_hidden_hunger.html. Accedido: 21-01-08.
- Velu.G, I. Ortiz-Monaterio,R.P. Singh and T. Payne. 2011. Variation for grain micronutrient concentration in wheat core collection. In Asian Journal of Crop Science. 2011.