Registro de una variedad de trigo biofortificado en el departamento de Tarija

Registration of a biofortified wheat variety in Tarija

Gilberto Gutiérrez[1*], Félix Marza [1], Roberto Butrón[1] y Félix Quispe[1]

[1]Proyecto Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),

Av. Panamericana km 2.5, Tarija, Bolivia

Autor para correspondencia: gilbertoguster@gmail.com

Recibido: marzo de 2017; Publicado diciembre de 2017

Resumen

INIAF – YESERA es una nueva variedad de trigo biofortificado (*Triticum aestivum*) que fue liberada y puesta a disposición de los productores, para el cultivo comercial bajo condiciones de secano y riego del área agrícola de la cuenca Alta del Rio Santa Ana y provincia Arce del departamento de Tarija – Bolivia. La variedad INIAF – YESERA tiene un rendimiento promedio nacional de 2500 kg ha^{-1} con un potencial de rendimiento hasta 3600kg ha^{-1}. Tiene una tolerancia a manchas foliares, royas y un alto contenido en proteína, hierro y Zinc. De la misma forma, esta nueva variedad se constituye en un bien público para que instituciones públicas locales, departamentales y nacionales, impulsen su difusión, multiplicación, transformación y consumo, a través de estrategias que aseguren el uso.

Palabras claves: Biofortificado, rendimiento, calidad, tolerante a enfermedades.

Abstract

INIAF - YESERA is a new variety of biofortified wheat (*Triticum aestivum*) that has been released and put at the disposal of producers, for the commercial cultivation under rainfed conditions and irrigation of the agricultural area of the Santa Ana River and Tarija Arce Province Bolivia. The INIAF - YESERA variety has an average national yield of 2500 kg ha^{-1} with a yield potential up to 3600 kg ha^{-1}. It has a tolerance to leaf spots, rusts and a high content of protein, iron and zinc. This new variety is considered in public good for local, departmental and national public institutions in order to promote their dissemination, multiplication, transformation and consumption through strategies that ensure their use.

Keywords: Biofortified, yield, quality, tolerant to diseases.

Introducción

El trigo se constituye en la base alimenticia de la población. El consumo percápita es de 69 kg año^{-1}, la demanda anual alrededor de 700.000 t, la producción se encuentra entre 145 a 255 mil t año^{-1}, representando del 24 al 43% de satisfacción de la demanda interna. El rendimiento nacional entre 0.9 a 1.4 t ha^{-1}, mejores en el oriente (0.9 a 2.1t ha^{-1}) que en el área tradicional (0.7 a 1.0 t ha^{-1}).

El trabajo del Programa Nacional de Trigo, consiste en encontrar alternativas viables de solución a cuellos de botella tecnológicos, cuya solución origine saltos cualitativos y cuantitativos significativos en la competitividad del trigo, esto, a través del desarrollo sostenible de variedades de alta estabilidad, alto potencial genético para rendimiento, buena calidad, tolerantes a factores bióticos y abióticos adversos con sus correspondientes recomendaciones de manejo, que permitan según el tipo de productores, optimizar su potencial productivo, coadyuvando de ésta manera a la política nacional de seguridad

con soberanía alimentaria. El objetivo del presente trabajo de investigación es generar cultivares biofortificados con altos contenidos de proteína, hierro y zinc, adaptadas a las principales zonas trigueras de Bolivia.

Materiales y métodos

a) Designación experimental

L-427, del vivero 2nd HPYT (High Protein Yield Trial).

Pedigree:

WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCONPI94625/AE.SQUARROSA372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1.

Selección:

CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-3M-0Y

Nombre propuesto:

INIAF-YESERA, Trigo harinero Biofortificado, *Triticum aestivum* L.

b) Origen y método de mejoramiento

El material genético fue desarrollado en el marco de Programa de Mejoramiento de Trigos Biofortificados del Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT-México) desde la hibridación original (F1) los mismos fueron valorados en base a criterios y prioridades como ser: alto contenido de micronutrientes (Fe y Zn), alto potencial de rendimiento y estabilidad, resistencia duradera a Royas del tallo, de la hoja y amarilla, eficiencia en el uso del agua y adecuada calidad panadera (grano grande y duro, alta proteína, gluten con fuerza media/alta y extensible para varios tipos de pan).

Este material deriva del vivero 2nd HPYT (High Protein Yield Trial), constituido por una población de líneas con alto contenido de micronutrientes (Fe y Zn), alto rendimiento, que fue ensayado en múltiples localidades.

La población en generaciones tempranas (hasta F4), fue evaluada y seleccionada en base a su buen comportamiento fisiológico y sobre todo por su sobresaliente contenido de micronutrientes y alto potencial de rendimiento. Posteriormente formó parte de la población de líneas preliminares (F5-F7) y fue valorado en base a tolerancia a enfermedades y buena calidad de procesamiento. A partir de la generación F8, la población se constituyó en líneas avanzadas (50 Líneas) con alto potencial en contenido de micronutrientes, alto potencial de rendimiento y llegan a ser parte de ensayos internacionales, para ser distribuidos en países que conforman el consorcio.

El Material Genético fue introducido del CIMMYT en la Gestión 2011 (Tabla 1). El vivero tiene la denominación de 2nd HPYT haciendo un total de 50 Líneas incluyendo un testigo.

Tabla. 1 Genotipos introducidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en la gestión 2011.

ID	NOMBRE	SELECCIÓN	ENTRADA.
1	Testigo	Testigo	401
2	BAJ #1	CGSS01Y00134S-099Y-099M-099M-13Y-0B	402
3	MUNAL #1	CGSS01B00054T-099Y-099M-099M-099Y-099M-13Y-0B	403
4	QUAIU #1/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/4/QUAIU	CMSS08Y00996T-099TOPM-099Y-19M-0Y-8M-0Y	404

5	QUAIU #1/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/4/QUAIU	CMSS08Y00996T-099TOPM-099Y-32M-0Y-1M-0Y	405
6	QUAIU #1/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/4/QUAIU #2	CMSS08Y00998T-099TOPM-099Y-47M-0Y-9M-0Y	406
7	QUAIU #1/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/4/QUAIU #2	CMSS08Y00998T-099TOPM-099Y-51M-0Y-3M-0Y	407
8	DANPHE #1*2/SOLALA	CMSS08Y01000T-099TOPM-099Y-27M-0Y-5M-0Y	408
9	DANPHE #1*2/SOLALA	CMSS08Y01000T-099TOPM-099Y-30M-0Y-9M-0Y	409
10	DANPHE #1*2/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL	CMSS08Y01001T-099TOPM-099Y-50M-0Y-3M-0Y	410
11	DANPHE #1*2/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL	CMSS08Y01001T-099TOPM-099Y-50M-0Y-4M-0Y	411
12	DANPHE #1*2/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL	CMSS08Y01001T-099TOPM-099Y-50M-0Y-5M-0Y	412
13	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-1M-0Y	413
14	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-2M-0Y	414
15	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-3M-0Y	415
16	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-26M-0Y-3M-0Y	416
17	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-26M-0Y-5M-0Y	417
18	WAXWING*2/TUKURU*2/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL	CMSS08Y01016T-099TOPM-099Y-72M-0Y-1M-0Y	418
19	FRNCLN*2/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//TUI/CLMS/3/2*PASTOR	CMSS08Y01017T-099TOPM-099Y-28M-0Y-1M-0Y	419
20	VILLA JUAREZ F2009/SOLALA//WBLL1*2/BRAMBLING	CMSS08Y01020T-099TOPM-099Y-13M-0Y-7M-0Y	420
21	VILLA JUAREZ F2009/SOLALA//WBLL1*2/BRAMBLING	CMSS08Y01020T-099TOPM-099Y-13M-0Y-8M-0Y	421
22	VILLA JUAREZ F2009/SOLALA//WBLL1*2/BRAMBLING	CMSS08Y01020T-099TOPM-099Y-13M-0Y-9M-0Y	422
23	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-10M-0Y-8M-0Y	423
24	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-10M-0Y-9M-0Y	424
25	LOCAL CHECK		425
26	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-2M-0Y	426
27	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-3M-0Y	427
28	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-4M-0Y	428

29	LOCAL CHECK		429
30	T.DICOCCON PI94624/AE.SQUARROSA (409)//BCN/3/ WAXWING/4/2*FRNCLN	CMSS08Y01131T-099M-099Y-30M-0Y-2M-0Y	430
31	KVZ/PPR47.89C//3*PBW65/2*PASTOR	CMSS08Y01132T-099M-099Y-16M-0Y-5M-0Y	431
32	KVZ/PPR47.89C//3*PBW65/2*PASTOR	CMSS08Y01132T-099M-099Y-16M-0Y-6M-0Y	432
33	KVZ/PPR47.89C//3*PBW65/2*PASTOR	CMSS08Y01132T-099M-099Y-16M-0Y-7M-0Y	433
34	KVZ/PPR47.89C//TACUPETO F2001*2/ BRAMBLING/3/2*TACUPETO F2001*2/BRAMBLING	CMSS08Y01133T-099M-099Y-7M-0Y-8M-0Y	434
35	KVZ/PPR47.89C//TACUPETO F2001*2/ BRAMBLING/3/2*TACUPETO F2001*2/BRAMBLING	CMSS08Y01133T-099M-099Y-7M-0Y-9M-0Y	435
36	KVZ/PPR47.89C//TACUPETO F2001*2/ BRAMBLING/3/2*TACUPETO F2001*2/BRAMBLING	CMSS08Y01133T-099M-099Y-7M-0Y-10M-0Y	436
37	KVZ/PPR47.89C//FRANCOLIN #1/3/2*PAURAQ	CMSS08Y01134T-099M-099Y-20M-0Y-8M-0Y	437
38	KVZ/PPR47.89C//FRANCOLIN #1/3/2*PAURAQ	CMSS08Y01134T-099M-099Y-20M-0Y-9M-0Y	438
39	KVZ/PPR47.89C//FRANCOLIN #1/3/2*PAURAQ	CMSS08Y01134T-099M-099Y-20M-0Y-10M-0Y	439
40	KVZ/PPR47.89C//FRANCOLIN #1/3/2*PAURAQ	CMSS08Y01134T-099M-099Y-29M-0Y-10M-0Y	440
41	HGO94.7.1.12/3/KIRITATI//PRL/2*PASTOR/4/ KIRITATI//2*PRL/2*PASTOR/5/PRL/2*PASTOR	CMSS08Y01137T-099M-099Y-5M-0Y-10M-0Y	441
42	CHIH95.2.6//WBLL1*2/KURUKU/3/WBLL1*2/KKTS/4/ ND643/2*WBLL1	CMSS08Y01141T-099M-099Y-11M-0Y-7M-0Y	442
43	CHIH95.2.6//WBLL1*2/KURUKU/3/WBLL1*2/KKTS/4/ ND643/2*WBLL1	CMSS08Y01141T-099M-099Y-11M-0Y-9M-0Y	443
44	HGO94.7.1.12//WBLL1*2/KUKUNA/3/WBLL1*2/KURUKU	CMSS07B00912T-099TOPY-099M-099Y-4M-0Y-5M-0Y	444
45	HGO94.7.1.12//WBLL1*2/KUKUNA/3/WBLL1*2/KURUKU	CMSS07B00912T-099TOPY-099M-099Y-4M-0Y-7M-0Y	445
46	COAH90.26.31//KIRITATI/WBLL1/3/KIRITATI/2*WBLL1	CMSS07B00917T-099TOPY-099M-099Y-7M-0Y-9M-0Y	446
47	COAH90.26.31//KIRITATI/WBLL1/3/KIRITATI/2*WBLL1	CMSS07B00917T-099TOPY-099M-099Y-7M-0Y-10M-0Y	447
48	OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR/4/T.SPELTA PI348449/5/ BACEU #1/6/WBLL1*2/CHAPIO	CMSS07Y01302T-099Y-19M-0Y-2B-0Y	448
49	CROC_1/AE.SQUARROSA (210)//PBW343*2/KUKUNA/3/ PBW343*2/KUKUNA	CMSA06M00194T-099Y-099Y-17M-0Y-3B-0Y	449
50	CROC_1/AE.SQUARROSA (210)//INQALAB 91*2/ KUKUNA/3/PBW343*2/KUKUNA	CMSA06M00195T-099Y-099Y-9M-0Y-7B-0Y	450

El ensayo de introducción fue establecido en ambientes del Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas (CNPSH), localidad Montenegro, municipio de Sipe Sipe, provincia Quillacollo en el departamento de Cochabamba, centro dependiente del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, (INIAF) en la campaña agrícola 2011-2012.

El ensayo fue establecido en base a la estructura de un diseño alfa-látice, con dos repeticiones, se evaluaron alrededor de 30 variables, esto para alcanzar una adecuada caracterización del material genético introducido y develar a cabalidad su potencial de calidad y productivo.

En la campaña agrícola siguiente 2012-2013 se continuó evaluando la totalidad de la población (50 líneas avanzadas), las mismas, fueron establecidas en cuatro localidades, como se detalla en la Tabla 2 con énfasis en el área triguera tradicional por las características y objetivos del mismo, que es alcanzar a la población más vulnerable en términos de desnutrición en micronutrientes.

Tabla 2. Localidades donde fueron establecidos los ensayos durante la campaña agrícola 2012-2013.

Departamento	Provincia	Municipio	Localidad
Cochabamba	Carrasco	Pocona	Yuraj Molino
	Carrasco	Totora	Rodeo Grande
Potosí	José María Linares	Ckochas	RumiWiñaska
Chuquisaca	Zudañez	Zudañez	Zudañez

Soportado por el análisis estadístico correspondiente sobre las variables evaluadas, se identificaron doce líneas con las características de alta calidad y alto potencial productivo, representado una presión de selección del 24%.

Tabla 3. Genotipos élites seleccionados para su distribución en ensayos regionales.

ID	CRUZA	SELECCIÓN	ENTRADA
1	Testigo	Testigo	401
2	VILLA JUAREZ F2009/SOLALA//WBLL1*2/BRAMBLING	CMSS08Y01020T-099TOPM-099Y-13M-0Y-9M-0Y	422
3	DANPHE #1*2/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL	CMSS08Y01001T-099TOPM-099Y-50M-0Y-3M-0Y	410
4	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T. DICOCCON PI94625/AE. SQUARROSA(372)//SHA4/CHIL/5/ WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-3M-0Y	427
5	CROC_1/AE.SQUARROSA (210)//PBW343*2/KUKUNA/3/ PBW343*2/KUKUNA	CMSA06M00194T-099Y-099Y-17M-0Y-3B-0Y	449
6	CHIH95.2.6//WBLL1*2/KURUKU/3/WBLL1*2/KKTS/4/ ND643/2*WBLL1	CMSS08Y01141T-099M-099Y-11M-0Y-9M-0Y	443
7	COAH90.26.31//KIRITATI/WBLL1/3/KIRITATI/2*WBLL1	CMSS07B00917T-099TO-PY-099M-099Y-7M-0Y-10M-0Y	447
8	KVZ/PPR47.89C//FRANCOLIN #1/3/2*PAURAQ	CMSS08Y01134T-099M-099Y-20M-0Y-8M-0Y	437

9	BAJ #1	CGSS01Y00134S-099Y-099M-099M-13Y-0B	402
10	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T. DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//SHA4/CHIL/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1	CMSS08Y01024T-099TOPM-099Y-25M-0Y-2M-0Y	426
11	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-2M-0Y	414
12	PAURAQ*2/SOLALA	CMSS08Y01012T-099TOPM-099Y-17M-0Y-3M-0Y	415

La población seleccionada fue evaluada en ensayos regionales distribuidos en zonas tradicionales de producción de trigo (Tabla 4), y como testigo local se incorporó a la variedad más popular con los productores en cada localidad, tomando en cuenta que, no se tiene antecedentes de variedades biofortificadas que hayan alcanzado el grado de difusión deseado. Los ensayos fueron establecidos en función a la estructura de un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones.

Tabla 4. Localidades donde fueron establecidos los ensayos durante la campaña agrícola 2013-2014.

Departamento	Provincia	Municipio	Localidad
Cochabamba	Carrasco	Totora	Uyaxtipunta 1
	Tarata	Tarata	Tarata
Potosí	Chayanta	Ravelo	Ravelo
	Bernardino Bilbao	Arampampa	Arampampa
Chuquisaca	Zudañez	Zudañez	Zudañez
	NorCinti	Villa Charcas	Villa Charcas
Tarija	Cercado	Tarija	Yesera
La Paz	Bautista Saavedra	Charazani	Charazani

Resultados y discusión

a) Comportamiento de atributos agronómicos

El comportamiento de las doce líneas a nivel de las ocho localidades se describe en la Tabla 5 de acuerdo a su clasificación, en la misma, se muestran las variaciones obtenidas a través de los estadísticos descriptivos. Entre las características agromorfológicas y fisiológicas, se distinguen las variables cuantitativas como días a emergencia, precocidad, altura de planta y longitud de arista tienen características sobresalientes.

Se destaca también precocidad, con las 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 la 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 determinar 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 septoria y roya principalmente.

Las variables relacionadas con componentes de rendimiento mostraron comportamientos relativamente dispersos (Tabla 5), ejemplo, número de macollos por planta con promedio para las líneas de 4.5 macollos, longitud de espiga alcanzó un promedio de 8.46 cm con una máxima de 12.0 cm y una mínima de 4.6 cm. El promedio para peso de mil granos fue de 46.28 g con una dispersión de ± 5.61. Para la variable de rendimiento propiamente dicho, el estimado del promedio fue 2.248 kg ha^{-1}; siendo esta una de las variables que presentó mayor variación, pudiendo la misma atribuirse a la naturaleza de las condiciones experimentales a lo largo de las localidades incluidas en el estudio. El número de granos por espiga alcanzó un promedio de 43.69.

Tabla 5. Estadística descriptiva de variables agronómicas, calidad y de componentes de rendimiento de trigo Biofortificado del vivero 2nd HPYT introducido del CIMMYT, evaluadas en ocho localidades del área triguera tradicional de Bolivia: : Días a emergencia (DE), numero de macollos (NM), días a floración (DF), altura de planta (AP), área foliar (AF), numero de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), numero de espiguillas por espiga (NEE), numero de granos por espiga (NGE), longitud de arista (LA), días a madurez (DM), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento (RDTO), durante la campaña agrícola 2013-2014.

Variables	Media	Desv. típ.	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
DE	8.47	2.96	0.92	-0.71	6.0	15.0
NM	4.50	2.80	1.58	2.50	1.0	15.0
DF	77.83	12.58	-0.67	-0.96	47.0	99.0
AP (cm)	73.14	10.53	-0.51	4.75	90	105.0
AF (cm^2)	28.46	12.32	0.37	-1.03	10.0	60.0
NEM	135.00	80.86	0.40	-0.46	18.0	368.0
LE (cm)	8.46	1.28	0.11	0.09	4.6	12.0
NEE	14.84	2.32	-0.26	-0.40	9.0	20.0
NGE	43.69	12.41	-0.20	0.71	10.0	78.0
LA (cm)	7.42	1.19	0.15	-0.01	4.0	10.5
DM	126.69	5.01	1.69	6.58	118.0	150.0
PMG (g)	46.28	5.61	0.39	-0.18	35.0	62.0
PH (kg hl^{-1})	78.51	4.14	-0.92	1.12	60.0	86.4
RDTO (kg ha^{-1})	2248.09	1458.12	0.12	-1.43	130.0	5064.0

b) Análisis de Correlación.

La matriz de correlación de variables (Figura 1) es fehaciente en identificar el grado de relación de variables agronómicas y de componentes de rendimiento. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), rendimiento (RDTO),número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de grano por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH). En ella se visibiliza gráficamente, correlaciones positivas que nos permite inferir sobre la proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable.

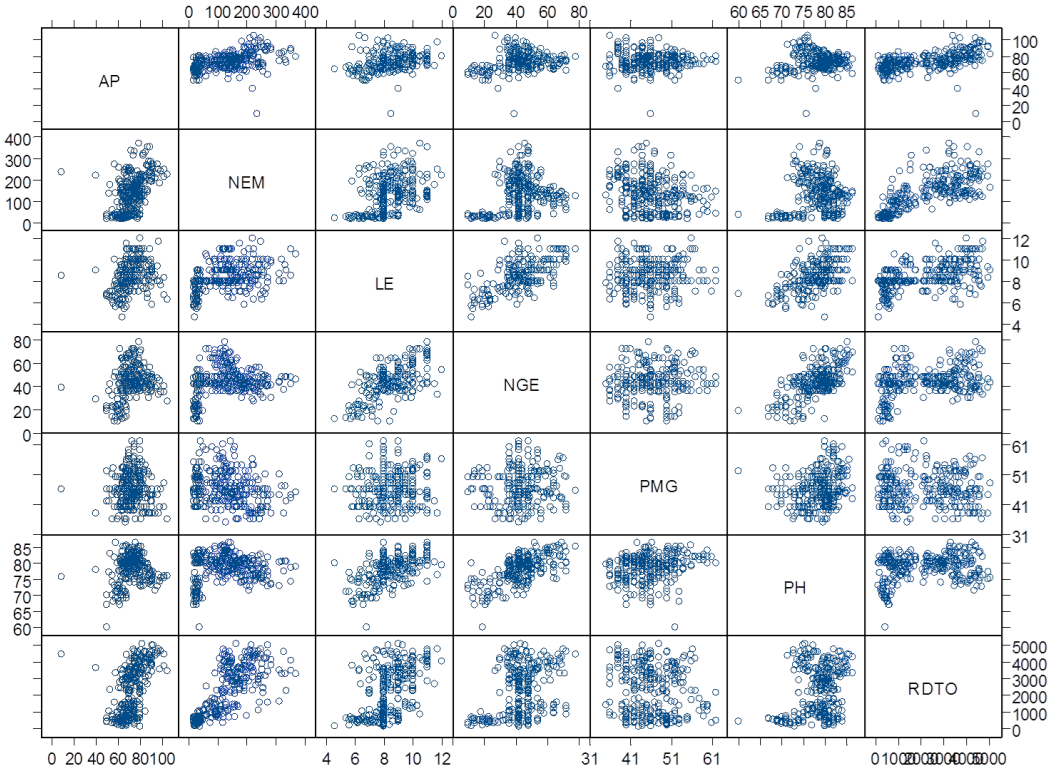


Figura 1. Matriz de correlación de variables agronómicas y de componentes de rendimiento de líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 2nd HPYT, introducidas del CIMMYT; evaluadas en localidades del área tradicional de Bolivia.

c) Análisis de Componentes Principales

En conocimiento de la correlación entre variables, la etapa siguiente fue la transformación de las variables correlacionadas en componentes principales no correlacionados. 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). Los resultados del análisis permitieron identificar con mucha nitidez componentes con un número de integrantes variable y altamente informativos. Entre los

componentes que destacan por su magnitud, (Figura 2) encontramos a componentes de rendimiento. Adicionalmente, explotando la información, se puede distinguir el grado de correlación de la línea biofortificada 427 con una excelente aproximación al primer componente identificado. Aunque la proporción de la varianza explicada por los dos primeros componentes no es la óptima (30%), se puede señalar que la caracterización de la población es exquisita, pues se pueden identificar las aptitudes de la misma con relación a los otros componentes.

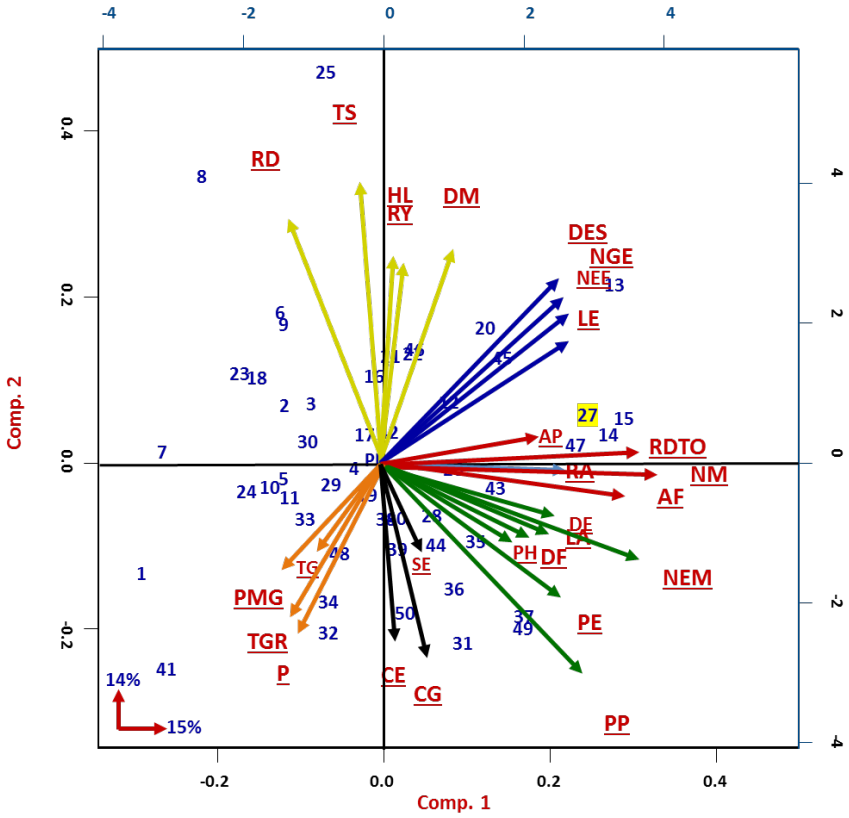


Figura 2. Análisis Biplot de la caracterización de las líneas biofortificadas avanzadas de trigo harinero del vivero 2nd HPYT, introducidas del CIMMYT; evaluadas en localidades del área tradicional de Bolivia, durante el periodo 2011-2014.

d) Tolerancia a enfermedades y plagas

La variedad que se propone, INIAF-YESERA, es tolerante para las enfermedades de Septorias y Roya del tallo, lecturas realizadas en las localidades de Tarata y Yesera, con una calificación de "4" tolerante para ambos factores bióticos respectivamente. Respecto a Helmintosporiosis, esta fue registrada en Ravelo, Potosí, donde la respuesta fue de "tolerante".

Calidad en grano

Tabla 6. Parámetros de calidad de la variedad INIAF-YESERA

Parámetros de calidad	Unidad de medida	Valor promedio
Zinc	mg $100g^{-1}$	4,9
Hierro	mg $100g^{-1}$	3,5
Proteína	%	16,5
Gluten Húmedo	%	37,0
Dureza	%	91,9
Almidón	%	69,7
Peso hectolítrico	hl kg^{-1}	79,3
Peso de mil granos	g	51,9
Rendimiento promedio(8 loc)	kg ha^{-1}	2411,3
Rendimiento en zonas recomendadas	kg ha^{-1}	4508,0

El contenido de micronutrientes que alcanza es de 4,9 y 3,5mg $100g^{-1}$ de contenido de Zinc y Hierro respectivamente, considerados valores expectables, sobre todo en Zn (tabla 6).

El índice de dureza de trigo de la variedad INIAF-YESERA alcanza a 92% valor que entra en la clasificación de trigos duros y que son recomendables para su uso en la panificación por tener altos rendimientos de harina y baja extracción de semolina. La variedad Tepoca T89 que fue empleada con mayor frecuencia como testigo presentó un valor de 67.9.

El contenido de proteína de la variedad INIAF-YESERA en base seca fue 16.51% que supera ampliamente al testigo que alcanzó 11.28%. Este resultado garantiza que la variedad INIAF-YESERA cumplen con los requisitos de trigo con aptitud panadera porque superan el valor de11%.

En cuanto al contenido de gluten la variedad INIAF-YESERA (37%) presenta un valor muy por encima de la variedad testigo Tépoca T89 (22,8%). El contenido de proteína y el gluten se determinaron mediante el método de espectrometría en infrarrojo con el equipo NIR.

e) Estabilidad

El rendimiento promedio en 8 localidades, está liderado por la línea 427 (INIAF-YESERA), seguido de las líneas 426 y 437 siendo los más altos en comparación con el testigo. En la Figura 2, el panel trellis explica gráficamente el comportamiento de las diferentes líneas élite en las ocho localidades. Se puede inferir localidades de alto potencial

productivo, así como aquellas con serias limitaciones en términos de factores de producción.

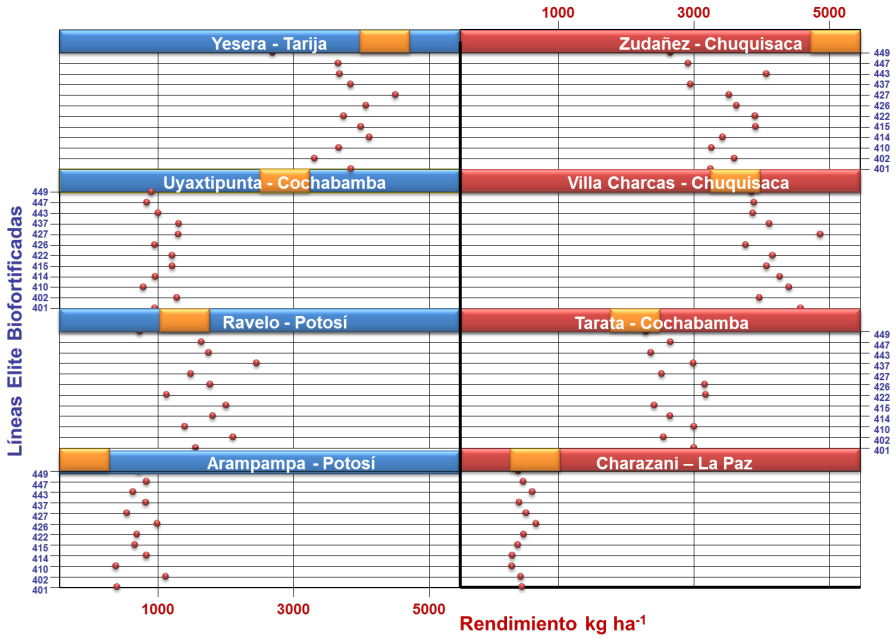


Figura 3. Panel Trellis para el rendimiento promedio (kg ha^{-1}) de once líneas élite de trigo biofortificado harinero evaluadas en ocho localidades durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

En la figura 4, presenta el ranking de rendimiento estandarizado, esta permite apreciar el comportamiento general de las diferentes líneas, la variedad propuesta "INIAF -YESERA" lidera la ordenación seguida de la línea 426. Se puede identificar nueve genotipos por encima del promedio, esto considerando que son materiales producto de un proceso de selección.

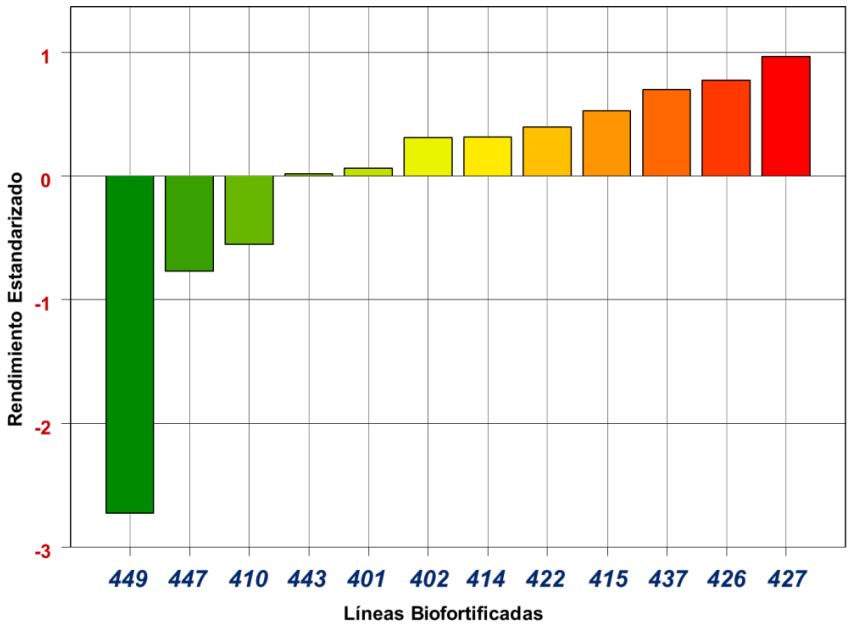


Figura 4. Rendimiento promedio estandarizado para once líneas de trigo biofortificado harinero evaluadas en ocho localidades en el marco de un ensayo regional, de la red nacional de trigo del Programa, durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

f) Análisis de Varianza para Rendimiento

En el análisis de varianza (Tabla 7), se identificaron diferencias altamente significativas para rendimiento para la fuente de variación localidades, esto indica que las localidades o ambientes produjeron efectos diferentes sobre el rendimiento y también para genotipos, mismo que denota el comportamiento diferencial de la población de líneas elite. En la interacción genotipo por el ambiente no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 7. Análisis de varianza combinado para el rendimiento (kg ha^{-1}) de once líneas de trigo biofortificado harinero en ocho localidades durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

FV	GL	SC	CM	Fc		Pr > F
BLQ	2	12800.9	6400.4	0.03		0.9745
Localidad	7	533400819.2	76200117.0	307.69	**	<.0001
Líneas	11	7586007.2	689637.0	2.78	**	0.0022
GxA	77	22142917.1	287570.4	1.16	ns	0.2074
Error	190	47053734.5	247651.2		-	
Total	287	610196278.8				
R-cuadrado:	0.92		CV:	22.1		

* Significancia estadística al 5% de probabilidad
** Significancia estadística al 1% de probabilidad
ns No significancia estadística

g) Análisis AMMI

El análisis AMMI permitió detectar diferencias estadísticamente significativas entre ambientes (Figura 5), genotipos y la interacción genotipo por ambiente para una mayoría de variables consideradas. Efectos altamente significativos para la interacción justifican continuar el análisis para determinar el efecto de estas interacciones en el comportamiento de las diferentes líneas a través de los ambientes.

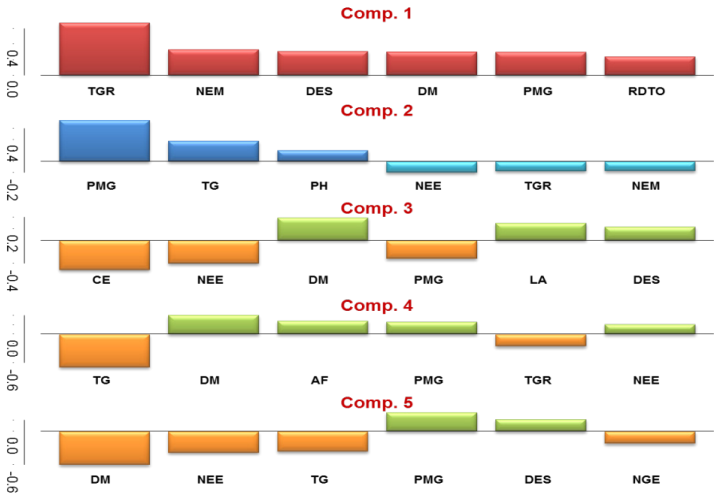


Figura 5. Componente Principal (CP), análisis Aditivo de efectos principales y de interacción multiplicativa (AMMI) resumiendo el comportamiento las variables con respecto a los componentes principales identificados con relación a las once líneas élite de trigo biofortificado harinero en ocho localidades en la campaña agrícola 2013 a 2014.

La matriz de genotipo por ambiente es utilizada para la estimación de los componentes principales de interacción. Para la variable rendimiento de la población 2nd HPYT, de acuerdo a este modelo se encontró que los dos primeros componentes explican el 56% de la varianza.

La interpretación de los resultados del análisis AMMI se facilita mucho con la representación figura 6 Biplot), en el mismo espacio, de los genotipos y los ambientes. El coeficiente de correlación entre genotipos, ambientes o genotipos y ambientes está dado en forma aproximada por el coseno del ángulo formado entre los vectores; así si el ángulo entre los sectores es de 180° el coeficiente de correlación es -1; si el ángulo es de 0°; el coeficiente es +1 y para 90° es 0. Lo anterior permite la posibilidad de detectar adaptaciones específicas y discriminar genotipos y ambientes en los análisis de estabilidad que estén positiva o negativamente correlacionados. En la Figura 5, se puede nítidamente concluir la adaptabilidad especifica de la variedad propuesta "INIAF-YESERA" (Línea 427) con la localidad Yesera y Villa Charcas donde el comportamiento de su productividad se maximiza.

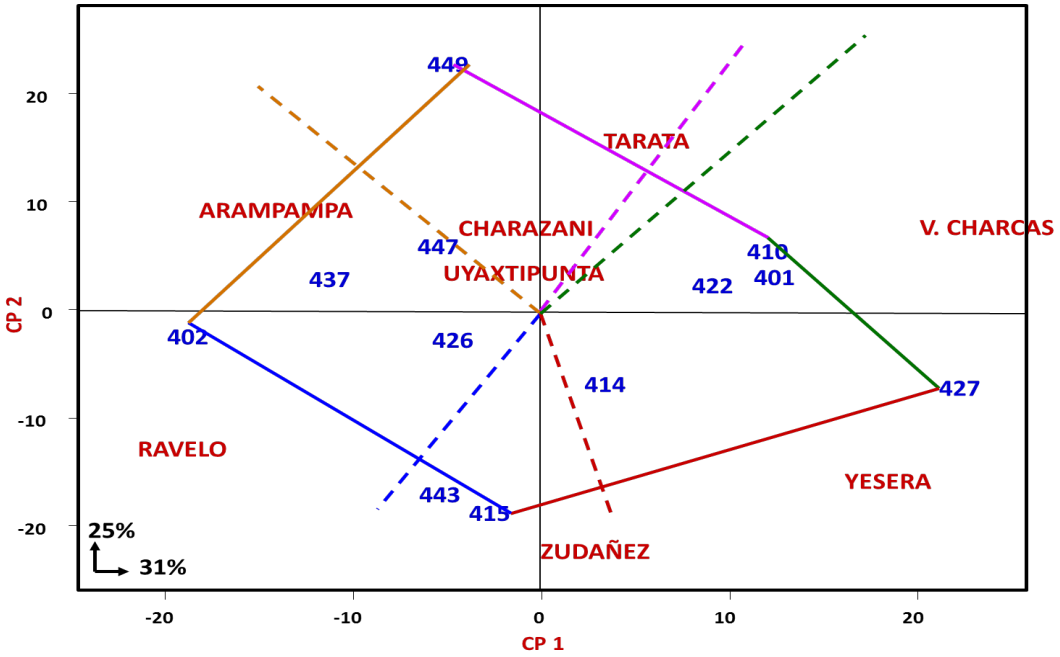


Figura 6. Componente Principal (CP), análisis Aditivo de efectos principales y de interacción multiplicativa (AMMI) resumiendo el comportamiento de doce líneas élite de trigo harinero con relación a catorce localidades en la campaña agrícola 2013 a 2014.

h) Características climáticas para la que fue seleccionada

En la Figura 7 extraída de la base de datos histórico SENAMHI de las localidades para los que fue desarrollada el material, se puede observar entre los meses de enero, febrero, marzo y abril la precipitación promedio supera los 355 mm y en cuanto a la temperatura tiene un comportamiento con variaciones mínimas siendo la media entre 10º y 20º C.

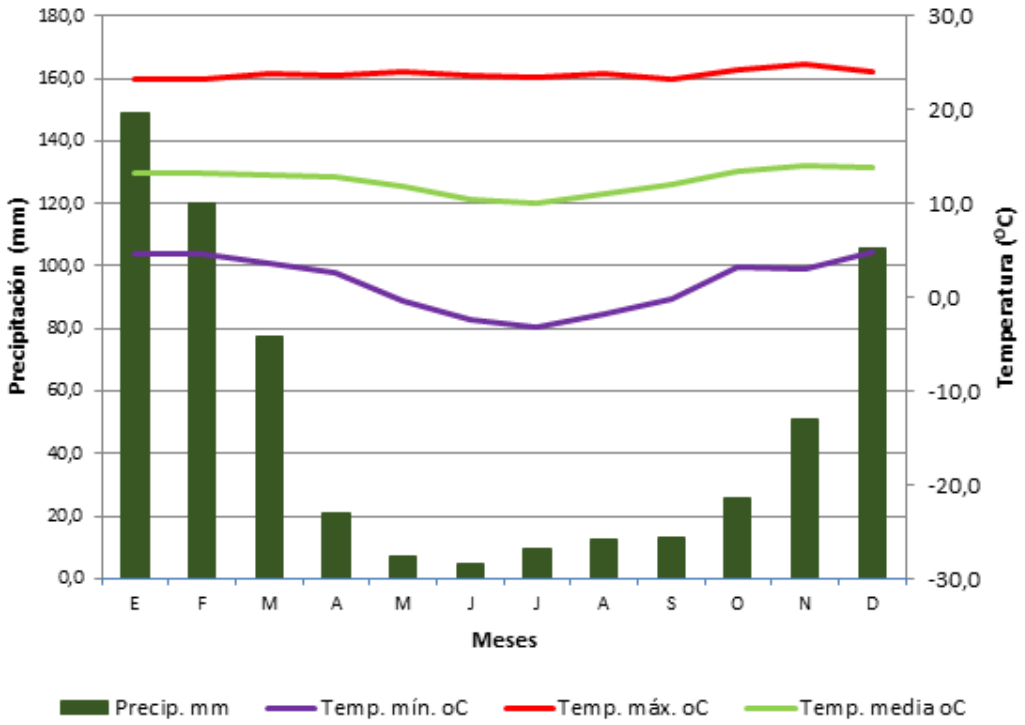


Figura 7. Climadiagrama de datos de precipitación, temperatura (Máxima, Mínima y media) de las principales localidades productoras de trigo en el área tradicional, datos extraídos de SENAMMHI de diez años.

i) Variedad INIAF-YESERA

Características agronómicas sobresalientes

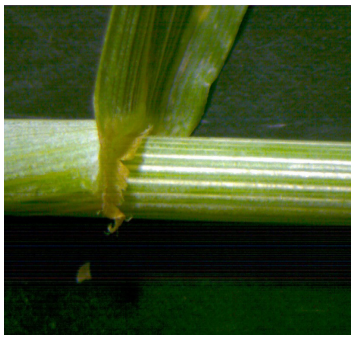
Las principales características agronómicas sobresalientes de la variedad INIAF-YESERA son las que se presentan en la tabla siguiente:

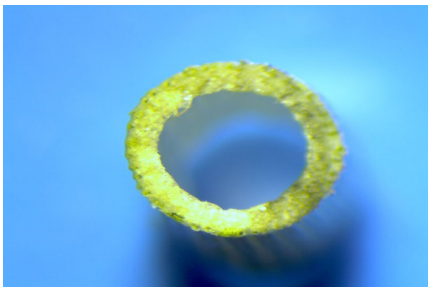
Tabla 8. Características agronómicas sobresalientes de la variedad INIAF-Yesera

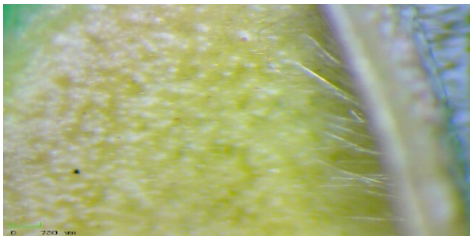
Parámetros de calidad	Valor promedio
Porte de la planta	Erecto
Altura de planta, (cm)	74
Precocidad	Precoz
Roya	Tolerante
Septoria	Tolerante
Densidad de la espiga	Moderadamente
Tamaño de grano	Grande
Peso hectolítrico, (hl $kg^{-1)}$	79,3
Peso de mil granos, g	51,9
Rendimiento promedio(8 loc), (kg ha^{-1})	2411,3
Rendimiento en zonas de óptimas condiciones, (kg ha^{-1})kg ha^{-1}	4508,0

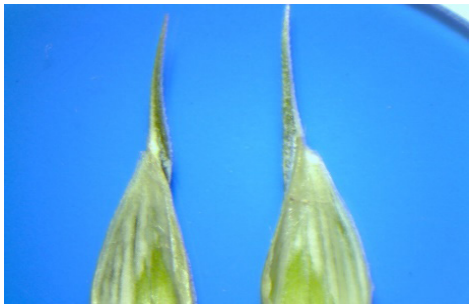
Características de identidad varietal

Tabla 9. Características de identidad varietal de la variedad INIAF-YESERA

Nro.	Características	Descripción	Fotografía
1	Coleóptilo: Pigmentación Antociánica	Ausente o muy débil	
2	Planta: Porte	Erecto	
3	Banderola: Pigmentación Antociánica de las aurículas	Nula o muy débil	
4	Planta: Frecuencia de plantas con la banderolas recurvadas	Nula o muy baja	
5	Época de espigado (primera espiguilla visible en el 50% de las espigas)	Media (80 días)	

6	Banderola: Glaucosidad de la vaina	Media	
7	Espiga: Glaucosidad	Alta	
8	Tallo: Glaucosidad del cuello de la espiga	Alta	
9	Planta: Altura(Tallo, espiga, barbas y aristas)	Media (73.4 cm)	
10	Paja: Sección transversal del tallo (a media distancia entre la base de la espiga y el nudo del tallo inmediatamente por debajo)	Hueca	

11	Espiga: Forma vista de perfil	Fusiforme	
12	Espiga: Densidad	Densa	
13	Espiga: Longitud (excluyendo las barbas o aristas)	Media (9.1 cm)	
14	Barbas o aristas: Presencia	Presencia de barbas	
15	Barbas o aristas en el ápice de la espiga: Longitud	Larga (7 cm)	
16	Espiga: Color	Claro	
17	Artejo apical del raquis: Vellosidad de la superficie.	Débil	
18	Gluma inferior: Anchura del hombro (Espiguilla del tercio medio de espiga)	Medio	
19	Gluma Inferior: Forma de hombro (espiguilla del tercio medio de la espiga)	Estrecho	
20	Gluma Inferior: Longitud del pico (espiguilla del tercio medio de la espiga)	Larga	
21	Gluma Inferior: Forma del pico (espiguilla del tercio medio de la espiga)	Ligeramente curvado	
22	Gluma Inferior: Extensión de la vellosidad interna (espiguilla del tercer medio de la espiga)	Media	

23	Lema inferior: forma del pico	Curveado	
24	Grano: Color	Blanco	
25	Época de siembra	Invierno/verano	
26	Días de maduración	Medio (136 días)	
27	Resistencia a roya de la hoja (Pucciniatritici)	Tolerante	
28	Resistencia a roya del tallo (Puccinia recóndita)	Tolerante	
29	Resistencia a Septoriatritici	Tolerante	

i) Área de adaptación del ensayo regional de líneas elite

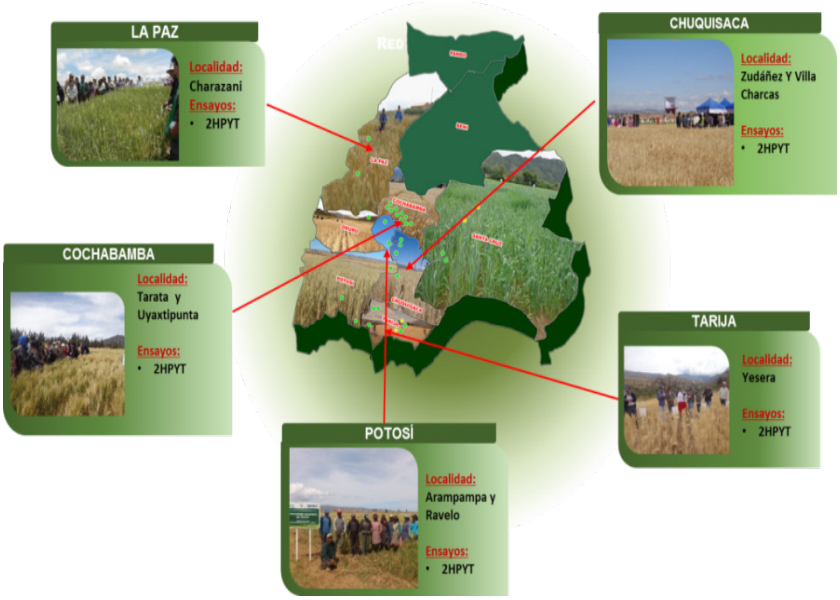


Figura 7. Ubicación de los ensayos por localidad y por departamentos, durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

Los once genotipos seleccionados fueron: 422, 410, 427, 449, 443, 447, 437, 402, 426, 414 y 415. Se incluyó un testigo (Tepoca T89) para fines de referencia agronómica y productividad. La elección de las localidades fue en base a su capacidad de discriminación de la interacción genotipo*ambiente y a su potencial de producción (Figura 7).

Conclusiones

La adaptabilidad especifica de la variedad propuesta "INIAF-YESERA" (Línea 427) con la localidad Yesera y Villa Charcas donde el comportamiento de su productividad se maximiza.

La variedad que se propone, INIAF-YESERA, es tolerante para las enfermedades de Septoria sp y Roya del tallo, lecturas realizadas en las localidades de Tarata y Yesera, con una calificación de tolerante para ambos factores bióticos respectivamente.

El rendimiento promedio en 8 localidades, está liderado por la línea 427 (INIAF-YESERA), seguido de la línea 426 y 437 siendo los más altos en comparación con el testigo.

Según el ranking de rendimiento estandarizado, esta permite apreciar el comportamiento general de las diferentes líneas, la variedad propuesta "INIAF -YESERA" lidera la ordenación seguida de la línea 426. Se puede identificar nueve genotipos por encima del promedio, esto considerando que son materiales producto de un proceso de selección.

Entre los componentes que destacan por su magnitud, encontramos a componentes de rendimiento, adicionalmente, explotando la información, se puede distinguir el grado de correlación de la línea biofortificada 427 con una excelente aproximación al primer componente identificado

El contenido de proteína de la variedad INIAF-YESERA en base seca fue 16.51% que supera ampliamente al testigo que alcanzó 11.28%. Este resultado garantiza que la variedad INIAF-YESERA cumplen con los requisitos de trigo con aptitud panadera porque superan el valor de11%.

Con referencia al contenido de micronutrientes que alcanza es de 4,9 y 3,5mg*100g^{-1} de contenido de Zinc y Hierro respectivamente, considerados valores expectables, sobre todo en Zn.

Referencias

Eberhar S.A., Russell W.A. (1966) *Stability parameters for comparing varieties*. Crop Science 6: 36-40.

INE. (2015) *Reporte anual de estadísticas agrícolas de Bolivia*. La Paz, Bolivia, 24 p

Marza, F. Butrón R.; Quispe, F.; Gutiérrez, G.; Vaca, L. 2016. *Estabilidad en genotipos de trigo harinero en condiciones semiáridas*. En trigo generando tecnología de Producción. Revista INFO- INAF. Pp 1-16.

Rodríguez P., J.E. Sahagún, H. E. Villaseñor, J. D. Molina, y A. Martyinez.2005. *La interacción genotipo ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo*. Agrociencia 39: 51-64.

Yang, R. C., Crossa, P.L. Cornelius, and J. Burgueño, (2009). *Biplotanalysis of genotype x environment interacction*: procedd with caution. CropSci. 49: 1564-1576.

Machado, A.T.; Machado C.T.T. (2004). *Melhjoramiento vegetal participativo comenfasena eficiencia nutricional*. EMBRAPA Cerrados 39p. (Documentos/ EMBRAPA Cerrados,104).

Hernández, V.B: GUZMAN R,S. (2010). Guía para producir trigo en los valles de Mexicali. Centro Experimental Valle de Mexicali Folleto Num. 57 Baja California México. 24p.

Marza, F. y Quispe, F. (2013). *Guía práctica para la Investigador en Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Foresta*l, INIAF Programa Nacional de Trigo.1ra edición. La Paz, Bolivia. 73p.

Velasco, et al. (2001). *Memoria de la IV reunión de trigo y cereales menores*. Ensayo regional de rendimiento de trigo del área tradicional. Cochabamba – Bolivia pp 133.

Hewstone, C. (1999). *Rediseño de componentes de rendimiento y su interacción con el manejo*. Centro Regional de Investigación Carillanca. Temuco, Chile.

INIAF. (2012). *Plan de Implementación del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal*. La Paz, Bolivia. 40 p.

López J: A. e Hidalgo, M. D. (1994). *Análisis de componentes principales y análisis factorial. Fundamentos de estadística con Systat*. Addison Wesley Iboamericana. Pp 457 -503.